RADIOMETER

Le guide de la tcpCO_2

Auteurs : Conseiller scientifique Annette Melhedegaard Thomsen, Radiometer Medical ApS.

Contributions : Prof. Dr. Konrad E. Bloch, Universitäts Spital Zürich.

Avec le soutien de Kevin Bage, Radiometer LTD, Franz von Wirth, Radiometer GmbH et Phil Lazzara, Radiometer America Inc.

Copyright © 2010 Radiometer Medical ApS, Denmark.

Le contenu de ce document peut être reproduit si la source est citée.

Imprimé au Danemark par Radiometer Medical ApS, Åkandevej 21, 2700 Brønshøj, Danemark, 2010.

ISBN 978-87-91026-09-6

939-591. 201308A.

CE
0459

Données pouvant être modifiées sans préavis.
Radiometer, le logo de Radiometer, ABL, AQT, TCM, RADIANCE, AQURE, PICO, CLINITUBES et QUALICHECK sont des marques commerciales de Radiometer Medical ApS.

Sommaire :
Introduction au monitorage transcutané

Monitorage de la tcpCO_2/tcpO_2 6
Principe de mesure TC 10
Mesures combinées de tcpCO_2 et SpO_2 12
Conseils de mise en œuvre du monitorage TC 20
Choix des sites de mesure 26
Choix de la température de mesure 29

Applications du monitorage TC

Néonatalogie 33
Pédiatrie 40
Blocs opératoires, USI et unités intermédiaires 45
Sédation en chirurgie 50
Médecines pulmonaire et respiratoires 54
Laboratoires du sommeil 62
Laboratoires et hôpitaux vétérinaires 66
Liste des abréviations 69

Techniques complémentaires

Choix des sites et des températures de mesure 71

Introduction au monitorage transcutané (TC)

La technique de mesure transcutanée du dioxyde de carbone et de l'oxygène a été découverte dans les années 1970. Depuis, des progrès importants ont amélioré cette technique et sa mise en application. Aujourd'hui, le suivi de la pression transcutanée des gaz est d'une grande utilité pour contrôler l'état respiratoire et ventilatoire des nouveau-nés, et s'avère essentiel pour le suivi de la ventilation des enfants et des adultes présentant des problèmes respiratoires chroniques. Ce développement a suivi l'évolution des soins prodigués dans les structures hospitalières. Ces soins évoluent dans deux directions : une application accrue de la ventilation non invasive et une utilisation plus fréquente de techniques telles que la jet-ventilation à haute fréquence et la ventilation par oscillations haute fréquence. Tous ces changements ont entraîné un besoin de suivi continu du niveau de CO_2 chez le patient. Le monitorage transcutané de la CO_2 (tc*p*CO_2) répond à ce besoin de façon non invasive.

Cet ouvrage est avant tout un guide sur le monitorage du dioxyde de carbone (tc*p*CO_2) d'un point de vue clinique. Cependant, comme le niveau d'oxygène transcutané (tc*p*O_2) peut s'avérer pertinent chez certains patients (par exemple les nouveau-nés sous oxygène), le guide contient aussi des informations sur ce paramètre. Pour de plus amples informations sur le suivi de la tc*p*O_2 des patients atteints d'artériopathie des membres inférieurs (comme l'ischémie critique), veuillez vous référer au «*Guide de la tcpO*$_2$». [*]

* Thomsen A, Wirth FV, Bryde-Jacobsen J. *Le guide de la tcpO*$_2$.
Radiometer Medical ApS, Åkandevej 21, 2700 Brønshøj, Denmark, 2003.

Comme la mesure par oxymétrie de pouls de la saturation en oxygène (SpO_2) est souvent combinée avec la tcpCO_2 et parfois la tcpO_2, cette technique est également expliquée dans ce guide.

Cet ouvrage est basé sur des recherches scientifiques publiées et sur les manuels de l'opérateur des moniteurs TCM de Radiometer. Selon les résultats de recherches cliniques, ce guide suggère les types de patients sur lesquels le monitorage transcutané peut être utilisé.

Les références se trouvent à la fin de chaque section. Pour une présentation plus approfondie des questions techniques et la résolution des problèmes sur les moniteurs TCM, veuillez vous référer aux manuels de l'opérateur de ces produits.

Chaque section contient des pages blanches pour permettre au lecteur des annotations et modifications en fonction des spécificités implémentées dans le service de soins.

Note : La validité de n'importe quelle mesure doit être examinée par un professionnel de santé et mise en relation avec l'état de santé apparent du patient avant toute prise de décisions basées sur ces mesures.

Monitorage de la tcpCO_2/tcpO_2

Un suivi continu non invasif

Les patients atteints de maladies cardiovasculaires et respiratoires nécessitent un suivi de leurs niveaux de CO_2 et d'O_2 pendant toute anesthésie ou chirurgie. L'hypercapnie et l'hypoxie peuvent entraîner une acidose qui impliquerait un traitement. Si elles ne sont pas détectées, une hypercapnie ou une hypoxie peut causer une hyperkaliémie, une dépression du myocarde, une arythmie, une hyper ou hypotension artérielle, voire une hypertension intra-crânienne. L'hypercapnie et l'hypoxie peuvent aussi avoir des conséquences néfastes et parfois sévères sur les organes et le cerveau à cause de la vulnérabilité des cellules et des organes aux changements du pH sanguin et de leur dépendance à l'oxygène. Un suivi non invasif transcutané du dioxyde de carbone et de l'oxygène peut être obtenu par diverses combinaisons de mesures :

- tcpCO_2
- tcpO_2
- SpO_2
- tcpCO_2 + tcpO_2
- tcpCO_2 + SpO_2
- tcpCO_2 + tcpO_2 + SpO_2

Mesure transcutanée du dioxyde de carbone et de l'oxygène

La mesure transcutanée de l'oxygène et du dioxyde de carbone est une méthode non invasive de contrôle en continu des pressions de gaz dans la peau. Un capteur combiné de type Clark et Servinghaus, aussi appelé capteur Stow-Severinghaus*, est placé sur la peau puis chauffé. La chaleur du capteur dilate le lit capillaire et augmente la diffusion de gaz à travers la structure lipidique de la peau ; ce qui permet au dioxyde de carbone et à l'oxygène de se diffuser 20 fois plus vite à travers les capillaires jusqu'au capteur. L'oxygène génère un courant et le dioxyde de carbone un potentiel dans le capteur.

Ces signaux sont convertis par le moniteur et affichés comme des valeurs de tcpCO_2 et de tcpO_2 sur l'écran.

*D'après la littérature, le capteur pCO_2 est généralement connu sous le nom de capteur type Severinghaus. Cependant, c'est Richard Stow qui a inventé la technique de mesure des gaz et qui l'a décrite en 1954. Dans la même année, Leland C. Clark Jr. a créé un capteur de gaz sanguins pO_2. En 1958 John W. Severinghaus a créé un appareil de mesure des gaz sanguins en combinant sa version plus pratique du capteur pCO_2 de Stow et le capteur pO_2 de Clark. C'est la raison pour laquelle le capteur de pCO_2 est connu sous le nom de Stow-Severinghaus. Dietrich Lübbers, Albert et Renata Huch ont démontré avec la collaboration de Patrich Eberhard en 1972 que le fait de chauffer la peau à une température de 40-45 °C entraîne une vasodilatation qui rapproche les valeurs de la pO_2 cutanée de la PaO_2, surtout chez les nouveau-nés. Plus tard, les capteurs transcutanés pCO_2 ont été mis au point et commercialisés au début des années 1980 [1].

Le capteur sur la peau

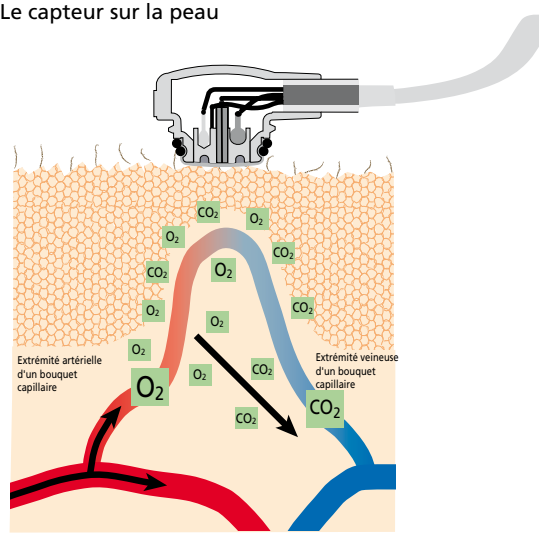


FIG. 1: Monitorage transcutané de pCO_2/O_2 (TC)
La chaleur émise par le capteur dilate le lit capillaire et augmente le flux sanguin local ainsi que la diffusion de CO_2/O_2 vers le capteur. Les valeurs de tcpCO_2 et de tcpO_2 sont mesurées électrochimiquement à l'intérieur du capteur.

Les mesures de tcpCO_2/tcpO_2 sont-elles identiques aux gaz du sang ?

Il est incorrect de penser que les mesures de tcpCO_2/tcpO_2 sont identiques aux gaz du sang artériel. Le but de la mesure des pressions partielles des gaz par voie transcutanée est d'obtenir des informations sur l'état cardio-respiratoire du patient sans avoir à prélever du sang artériel pour l'analyser. Cependant, la pression partielle transcutanée de l'oxygène reflète la valeur dermique de pO_2 qui est influencée par la pO_2 artérielle et par le flux sanguin local, la libération d'oxygène par l'hémoglobine et le métabolisme de la peau. Une peau vivante consomme toujours une partie de l'oxygène et donc, la tcpO_2 sera toujours inférieure à la pO_2 artérielle, et ce indépendamment de la température de mesure du capteur.

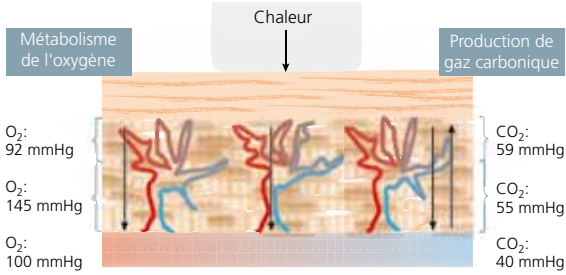


FIG. 2: Exemple des différents niveaux des gaz dans le sang et des tissus
Illustration des teneurs en oxygène et dioxyde de carbone physiologiques dans les artérioles, capillaires et cellules cutanées d'un sujet sain. Lorsque la chaleur d'un capteur TC dilate le capillaire et augmente la circulation locale. Dans la réaction métabolique, l'oxygène sera consommé et du dioxyde de carbone sera produit.

De même, la pCO_2 dermique mesurée par un capteur transcutané n'est pas seulement déterminée par la $PaCO_2$ artérielle, mais aussi par le flux sanguin et le métabolisme de la peau. L'apport de pCO_2 métabolique des cellules dépend de la température et cette influence peut être minimisée en appliquant une constante spécifique à la température et un facteur métabolique. Cependant, il y aura toujours une disparité entre la valeur de la tcpCO_2 et la tension du CO_2 dans le sang artériel. La tcpCO_2 est généralement supérieure à la $PaCO_2$ [2,3].

La tcpCO_2/tcpO_2 mesure la pCO_2/pO_2 de la peau

Le monitorage de la tcpCO_2/tcpO_2 est une technique facile et non invasive qui reflète les tendances de changement des gaz artériels. Elle permet d'évaluer l'oxygénation des tissus et l'efficacité du système cardio-pulmonaire dans l'évacuation du dioxyde de carbone. Ces informations peuvent indiquer la nécessité d'un prélèvement artériel [4].

Principe de mesure TC

Mesure de la tension de dioxyde de carbone

La mesure de la tcpCO_2 est en fait une mesure du pH. La pCO_2 de la peau se diffuse à travers la membrane du capteur dans une solution d'électrolyte. Dans cette solution, le CO_2 réagit avec l'eau pour former de l'acide carbonique qui se dissocie immédiatement en HCO^{3-} et H^+ selon l'équation suivante :

$$H_2O + CO_2 \leftrightarrows H_2CO_3 \leftrightarrows H^+ + HCO^{3-}$$

Comme le HCO^{3-} de la solution est maintenu à un niveau constant, les changements de concentration de H^+ équivaudront toujours aux changements du pH de la solution. Ces changements de pH modifient la tension entre le capteur en verre et le capteur témoin. Le pH ainsi mesuré est converti en une valeur de CO_2 suivant l'équation de Henderson-Hasselbalch, et fournit une tcpCO_2 exprimée en mmHg ou en kPa [5,6].

Mesure de l'oxygène

L'oxygène cutané passe à travers la membrane du capteur. Il atteint la cathode en platine. Ici, l'oxygène est réduit selon l'équation de la réaction suivante génératrice de courant :

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$$

L'anneau en argent qui entoure la cathode en platine est l'anode où a lieu la réaction d'oxydation suivante :

$$4Ag + 4CL^- \rightarrow 4AgCl + 4e^-$$

La réduction de l'oxygène produit un courant qui est converti en tension puis en valeur numérique de tcpCO_2 en mmHg ou en kPa [5,6].

Notes

1. Severinghaus JW, Astrup P, and Murray JF. Blood gas analysis and critical care medicine. Am J Respir Crit Care Med. 1998; vol. 157; nr. 4: 114-22.
2. Wimberley PD, Frederiksen PS, Witt-Hansen J. *et al*. Evaluation of a transcutaneous oxygen and carbon dioxide monitor in a neonatal intensive care department. Acta Paediatr Scand 1985; 74: 352-59.
3. Wimberley PD, Pedersen KG, Olsson J. *et al*. Transcutaneous carbon dioxide and oxygen tension measured at different temperatures in healthy adults. Clin Chem 1985; 31, 10: 1611-15.
4. Hill KM, Klein DG. Transcutaneous carbon dioxide monitoring. Crit Care Nurs Clin N Am 2006; 18: 211-15.
5. Larsen J, Linnet N. tc 110: Solid state transcutaneous combined pO_2/pCO_2 sensor. Radiometer A/S, Denmark 1990 (ISBN 87-88138-283)
6. TOSCA 500 Operating Manual. Radiometer Basel AG, Radiometer Medical ApS. 2006; Publ. No: 520.81001/3 – issued Jan. Part No.: 520 0910

Mesures combinées de tcpCO_2 et SpO_2

Capteur combiné de tcpCO_2 et de SpO_2

L'oxymétrie de pouls fournit des informations instantanées et continues sur la saturation en oxygène du sang et le rythme cardiaque. Cependant, ces informations n'indiquent pas la quantité d'hémoglobine disponible dans le sang. La mesure de la saturation en oxygène du sang est souvent utilisée avec la tcpCO_2, du fait qu'elles se complètent et fournissent une perspective plus large sur les gaz sanguins du patient. L'oxymétrie de pouls est largement pratiquée grâce à sa nature non invasive, sa facilité de mise en œuvre et son faible coût. De plus, elle est facile à interpréter; cependant, cette technique souffre de certaines limites qu'il est important de garder à l'esprit pour suivre au mieux son patient.

Méthodologie SpO_2

Le capteur d'oxymétrie de pouls continent typiquement 2 DEL (diodes électroluminescentes) – une émettant une lumière rouge et l'autre une lumière infrarouge. La lumière traverse un tissu irrigué de sang vers un photorécepteur situé de l'autre côté du doigt, de l'orteil, du pied ou du lobe de l'oreille où elle est réfléchie par l'os ou une autre structure. Plus il y a de sang absorbant la lumière dans les tissus au moment de la mesure, moins il y a de lumière atteignant le capteur [7].

L'illustration de la page suivante montre une mesure spectrophotomètrique de sang, avec une superposition du rouge (660nm) et de l'infrarouge (900nm). Les deux pics d'absorption représentent l'hémoglobine oxygénée (O_2Hb) et désoxygénée (HHb).

Comme l'O_2Hb absorbe moins de lumière rouge que de lumière infrarouge, le flux sanguin hautement saturé a moins d'influence sur le signal rouge que sur le signal infrarouge. Avec des concentrations faibles, cette situation se trouve inversée et beaucoup plus de lumière rouge que de lumière infrarouge est absorbée. Ainsi, la saturation en oxygène du sang peut être déduite du rapport lumière rouge absorbée/ lumière infrarouge absorbée. La mesure de la SpO_2 indique la quantité d'oxygène qui est réellement liée à l'hémoglobine disponible dans le sang, mais elle ne montre pas la concentration en hémoglobine ni en dyshémoglobine. Il se pourrait donc que la SpO_2 ne montre pas toujours l'état d'oxygénation du sang [8].

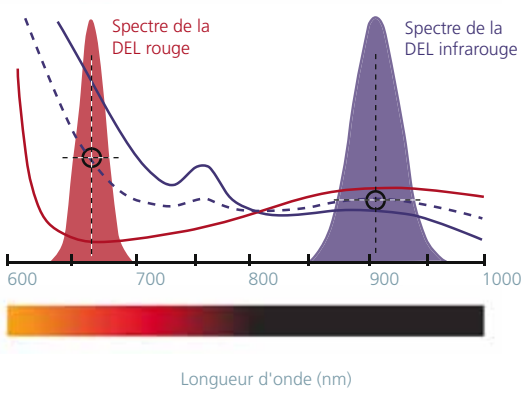


FIG. 3: Spectre de la lumière émise par une DEL
Chevauchement des spectres lumineux de la DEL et des spectres d'absorption de l'hémoglobine oxygénée et désoxygénée. Le trait pointillé violet indique le spectre du sang saturé à 50%, l'absorbance dans le rouge et l'infrarouge indiquée par les cercles noirs. Le schéma et le texte sont reproduits avec l'autorisation de Nellcor Puritan Bennett Inc. Pleasanton, California [8].

Relation entre SpO_2 et pO_2

La courbe de dissociation de l'oxygène décrit le rapport entre la pression partielle en oxygène (pO_2) et la saturation en oxygène (SpO_2) aux conditions standard (Fig. 4).

Ce rapport peut être utilisé dans une certaine mesure pour estimer la pO_2 à partir de la SpO_2. Cependant, la position de la courbe de dissociation se déplace vers la gauche ou la droite en fonction des changements de pH, température, 2,3-DPG, pCO_2 et en présence de dyshémoglobine.

Une étude coordonnée de ces variables se résume par les courbes suivantes (Fig 5). Lorsque la saturation en oxygène est lue sur la courbe avec une PaO_2 de 8kPa (60 mmHg), la valeur de SpO_2 correspondante se trouvait entre 69,7% et 99,4%. A un niveau de SpO_2 de 90%, la PaO_2 se trouvait entre 3,82 et 18,3 kPa (29 et 137 mmHg). Malgré ce manque de précision chez certains patients, il faut noter que la SpO_2 ne peut faire la différence entre une hypoxémie due à un déséquilibre ventilation/perfusion et une hypoxémie causée par une hypoventilation alvéolaire. Ces exemples illustrent le fait que la saturation en oxygène ne permet pas toujours de déduire avec précision une hypo/hyperoxie. En termes de transfert d'oxygène, la méthode de saturation d'oxygène, combinée avec les mesures de l'hémoglobine, est tout à fait pertinente [9,10].

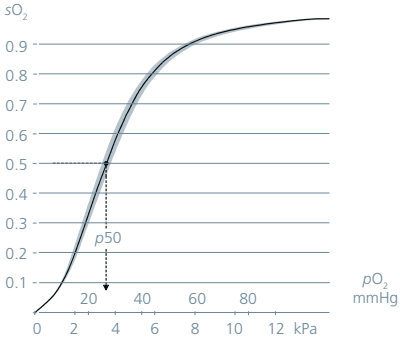


FIG. 4: Pression partielle d'oxygène et saturation
La courbe de dissociation de l'oxygène. La *p*50 est définie comme la pression partielle d'oxygène à demi-saturation, sO_2 = 50 %

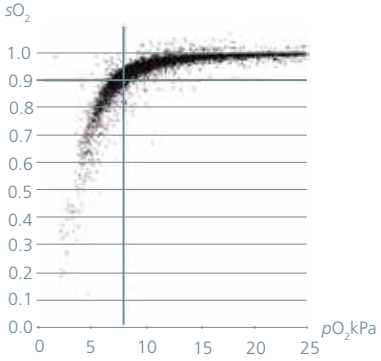


FIG. 5: Pression partielle d'oxygène et saturation
La courbe d'une étude combinée montre la tension d'oxygène par rapport à la saturation mesurée dans 10 079 échantillons [9].

Effets des mouvements et de la pigmentation de la peau sur la SpO_2

Les artefacts dus aux mouvements perturbent souvent l'oxymétrie de pouls et peuvent entraîner de fausses alertes ou mesures. Une étude récente a prouvé que les capteurs placés sur les doigts donnaient lieu à de fausses alertes moins fréquentes quand ils étaient placés sur le majeur plutôt que sur l'index, lequel est le site de mesure le plus utilisé.

Les mesures de la SpO_2 peuvent aussi être erronées par une pigmentation élevée chez le patient ou par du vernis à ongles. Certains capteurs montrent même un petit décalage pour les femmes. De plus, un capteur bien placé est très important pour assurer la meilleure pénétration de la lumière dans les tissus, et donc pour rendre les résultats plus fiables [11,12].

Capteurs de tc*p*CO_2/SpO_2 combinés au lobe de l'oreille VS capteurs de SpO_2 au doigt

Une étude a montré qu'un capteur combiné de tc*p*CO_2/SpO_2 détecte les changements dans la saturation en oxygène du sang bien plus vite qu'un capteur de SpO_2 placé au doigt. Ce phénomène peut être expliqué par la différence entre le temps de circulation des poumons aux oreilles et des poumons aux mains, et par des écarts dans la vascularisation des tissus. Le processus d'analyse des signaux et l'utilisation d'un capteur chauffant influent aussi sur le temps de réponse de l'oxymétrie de pouls. D'autres études ont montré que le lobe de l'oreille est moins affecté par la vasoconstriction systémique, ce qui fait du lobe de l'oreille une zone parfaitement adaptée à la mesure transcutanée du dioxyde de carbone [13,14,15,16,17].

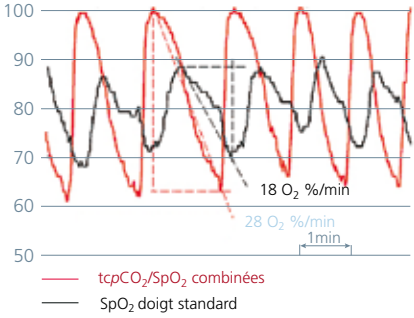


FIG. 6: Temps de réponse de la SpO_2
Le temps de réponse d'un capteur préchauffé combiné de tcpCO_2/SpO_2 placé à l'oreille est plus rapide que celui d'un capteur au doigt non chauffé. La détection du début et de la fin d'une désaturation a ainsi lieu 20 à 30 secondes plus tôt avec un capteur à l'oreille chauffé que grâce à un capteur au doigt non chauffé. Ainsi, l'amplitude détectée est près de deux fois plus grande. Cela est important pour des patients présentant des changements rapides et éphémères de SpO_2, par exemple en apnée du sommeil. Ce n'est pas seulement le nombre de désaturations qui sont en corrélation avec la dégradation des fonctions cognitives et les complications cardiovasculaires, mais ce sont aussi leurs degrés. Un temps de réponse court est indispensable pour détecter des changements rapides de la saturation en oxygène [15].

Capteur combiné de tcpCO_2/SpO_2

Le capteur combiné de tcpCO_2/SpO_2 schématisé ci-dessous fournit rapidement des informations sur ces paramètres et sur le pouls.

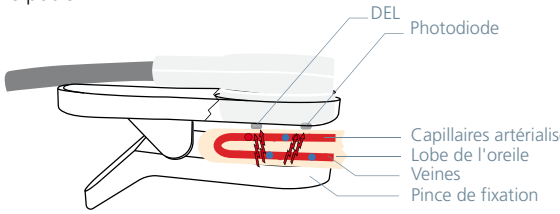


FIG. 7: Le capteur de tcpCO_2/SpO_2
La tcpCO_2/SpO_2 est mesurée par un capteur fixé à l'oreille par une pince. Cette technique est une combinaison de la technique TC décrite précédemment et d'une mesure spectrophotométrique de l'oxymétrie du pouls. Ce capteur TC comporte un blindage d'or protégeant la membrane et permettant ainsi de fournir des résultats fiables pendant 14 jours, sans replacement de membrane. Température d'utilisation recommandée : 42 °C.

La mesure de la SpO_2, combinée à la tcpCO_2, donne une estimation continue de la saturation en oxygène du sang artériel du patient et de son pouls, ainsi que des informations sur la tension en dioxyde de carbone de la peau et donc la capacité de l'organisme du patient à capter l'oxygène et à évacuer le dioxyde de carbone par le système cardio-pulmonaire. Ces informations sont pertinentes pour évaluer l'état cardiorespiratoire du patient et aident à prendre des décisions relatives à son traitement.

Notes

7. Haymond S. Oxygen saturation; a guide to laboratory assessment. Clinical Laboratory News 2006; Feb: 10-12. Reprint on the AACC website: www.aacc.org; Clinical Laboratory News; Series Articles.
8. Nellcor Puritan Bennett Inc. A technology overview of the Nellcor oximax pulse oximetry system. Web information.
9. Gøthgen IH, Siggaard-Andersen O, Kokholm G. Variations in the hemoglobin-oxygen dissociation curve in 10,079 arterial blood samples. Scand J Clin Invest 1990; 50, suppl. 203: 87-90.
10. Poets CF. Pulse oximetry vs. transcutaneous monitoring in neonates: practical aspects. www.bloodgas.org 2003; October: Neonatology.
11. Richards NM, Giuliano KK, Jones GJ. A prospective comparison of 3 new-generation pulse oximetry devices during ambulation after open heart surgery. Respiratory Care 2006; 51, 1: 29-35.
12. Poets CF, Stebbens VA: Detection of movement artefact in recorded pulse oximeter saturation. European Journal of Pediatrics 1997; 156, 10: 808-11.
13. Hickson VM, Mathews GR. Pulse oximeter sensor accuracy. Poster presentation from the ISAMOV 2007 conference (15-17 Mars 2007 Duke University, Durham, North Carolina).
14. Senn O, Clarenbach CF, Kaplan V *et al*. Monitoring carbon dioxide tension and arterial oxygen saturation by a single earlobe sensor in patients with critical illness or sleep apnea. Chest 2005; 128, 1291-96.
15. Bloch KE. Tosca – selected case reports. Adipositas-hypoventilation syndrome. 2005; Patient 1: Figure 2: 5. (Linde Medical Sensors AG, Austrasse 25, Ch-4051 Basel, Switzerland)
16. Jablonka DH, Aymen A, Stout RG. What is the optimum site to measure the effect of spontaneous ventilation on the pulse oximeters waveform? ASA annual meeting abstracts 2004; A-191.
17. Awad AA, Stout RG, Ghobashy AM. Analysis of the ear pulse oximeter waveform. Journal of Clinical Monitoring and Computing 2006; 20, 3: 174-84.

Conseils de mise en œuvre du monitorage TC

Applications pratiques

Un site de mesure TC idéal est une zone de peau sur un lit capillaire homogène sans grandes veines, défauts ou pilosité épidermiques. Placer le capteur directement sur un os ou une cicatrice peut fausser les résultats à cause de l'altération locale de la perfusion. Un œdème sévère peut rendre les résultats non fiables du fait de la réduction du flux sanguin due à la compression des boucles capillaires et à la diffusion plus lente. Pour plus d'informations, voir la section sur les zones de mesure page 26.

Le capteur

Le capteur doit être en contact avec la peau via un liquide ou gel de contact. Cela évite tout biais de mesure dû à l'air ambiant entre le capteur et la peau. D'éventuelles bulles d'air affecteront la mesure provoquant des niveaux d'O_2 trop élevés et de CO_2 trop bas.

L'initiation d'un monitorage TC implique un temps de stabilisation du capteur

Il faut 3 à 7 minutes après l'application du capteur pour que les valeurs de tc*p*CO_2 se stabilisent, et éventuellement 10 à 17 minutes pour obtenir des résultats fiables de tc*p*O_2. Préchauffer la peau peut réduire ces délais de 3-6 minutes et 5-16 minutes respectivement. La tc*p*CO_2/tc*p*O_2 est considérée comme stable lorsque les valeurs TC d'un patient stable ne varient pas de ± 2 mmHg (±0,25 kPa) en 1 minute.

Temps de réponse et de latence de la tcpCO_2

Une étude menée auprès de patients en bonne santé a évalué le temps de latence de la tcpCO_2 et l'a défini ainsi : *"Le temps entre le début d'une intervention sur le bilan des gaz du sang et la réponse initiale du capteur"*. Le temps de latence moyen de la tcpCO_2 pendant une hypercapnie était de 16,8 ± 1,3 secondes. Quand les sujets ont recommencé à respirer l'air ambiant, la période de latence était de 14,2 ± 1,4 secondes.

Le temps de réponse peut être défini ainsi : de l'initiation d'une intervention sur le bilan des gaz du sang jusqu'à la réponse maximale (100%) du capteur, le temps de réponse à 90 % était de 77,9 ± 6,7 secondes. La tcpCO_2 a un temps de réponse plus court que la tcpO_2. Ceci est probablement dû à un débit cardiaque plus important résultant de l'hypercapnie, la perfusion capillaire et une diffusion plus rapide du CO_2 à travers la peau [18].

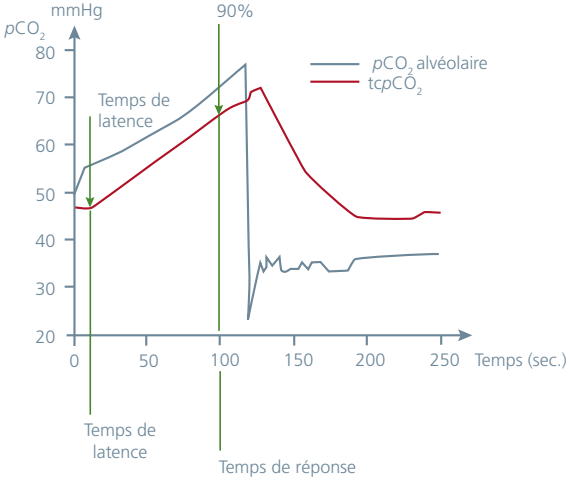
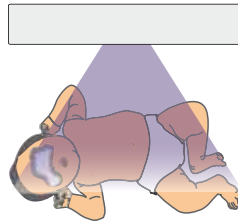


FIG. 8: Temps de réponse et de latence du capteur de tcpCO_2

Lumière UV

Les mesures de tcpCO_2 et de SpO_2 peuvent être affectées par la lumière d'une lampe UV, comme celle utilisée pour les nouveau-nés ictériques suivant un traitement par UV. Certains capteurs résistent mieux aux UV que d'autres; cependant une protection supplémentaire est recommandée [19].



Scanner IRM

Afin de minimiser le risque qu'un champ électromagnétique n'interfère avec des mesures TC, le moniteur TC doit toujours être placé à une bonne distance du scanner IRM. Pour des mesures TC ayant lieu pendant une IRM, la longueur minimale du câble du capteur peut être calculée en se référant au Manuel de l'opérateur du TCM.

Vasoconstriction

Il existe un désaccord au sujet de la fiabilité des mesures de tcpCO_2/tcpO_2 dans des cas de vasoconstriction épidermique causée par des agents vasoconstricteurs, les toxines chez les patients sceptiques, l'hypothermie ou la résistance vasculaire cutanée comme celle que l'on constate chez les patients hypovolémiques, présentant une hypotension cardiogénique ou un débit cardiaque faible. Plusieurs études ont démontré que des substances vasoactives telles que la dopamine, tolazoline, isoprotérénol, nitroprusside, aminophylline, hydralazine, épinéphrine, dobutamine, phényléphrine et norépinephrine n'affectent pas les mesures de tcpCO_2/tcpO_2 [20, 21, 22, 23].

Une étude parallèle a confirmé que les catécholamines cités ci-dessus n'affectent pas les mesures TC : *"Cependant, dans des cas de vasoconstriction cutanée profonde ou en état de choc, la corrélation entre la tcpCO_2 et la $PaCO_2$ est faible*"*. Dans ces situations, une tcpCO_2 basse pourrait être un premier indicateur d'un choc hypotensif en développement [22,24*,25].

Fumer ou mâcher un chewing-gum contenant de la nicotine abaisse la tcpO_2 pendant un laps de temps de 50 minutes, alors que la tcpCO_2 reste inchangée. [26].

Température de la peau

Un biais significatif des valeurs de tcpCO_2 et $PaCO_2$ a été observé dans des conditions hypothermiques, le patient ayant une température rectale inférieure à 36 °C [24].

Indice de masse corporelle

Des études ont supposé que l'épaisseur de la peau chez les patients obèses pouvait affecter la perméabilité pour la diffusion de CO_2 et la vasodilatation du lit capillaire de l'élément chauffant du capteur TC. D'autres ont cependant confirmé que la tcpCO_2 n'est pas influencée par l'IMC ; au contraire la tcpCO_2 s'est avérée identique chez les patients obèses et maigres [21,22, 27].

Pigmentation

Les mesures de tcpCO_2/tcpO_2 sont basées sur une mesure électrochimique du dioxyde de carbone et de l'oxygène se diffusant à travers la peau. La technique TC n'utilisant pas de lumière, comme pour les mesures de SpO_2, elle ne peut pas être utilisée indifféremment sur tous les patients, sans prendre en compte un biais dû à la pigmentation de leur peau [21].

Influence de l'âge sur la respiration

Le vieillissement est associé à un risque accru d'insuffisance respiratoire hypercapnique chez les patients atteints de pneumonie, d'insuffisance cardiaque congestive ou d'exacerbation de broncho-pneumopathie chronique obstructive. L'augmentation du niveau de la $PaCO_2$ peut se justifier pas la diminution de la force des muscles respiratoires due à l'âge et par la moindre obéissance du système respiratoire et du centre respiratoire. Une étude de la $tcpCO_2$ menée auprès de patients âgés de 66 à 97 ans a montré une corrélation élevée avec la $PaCO_2$ et un faible biais des mesures. Les auteurs ont noté que *"la limite d'accord s'est trouvée compatible avec une utilisation clinique (8,3-8,5 mmHg/1,1 kPa)"*. De plus, la chaleur du capteur (43 °C) s'est avérée être particulièrement bien tolérée par les patients âgés, même après la prise de mesures sur le même site pendant 8 heures [27].

Facteur de correction TC en néonatalogie

Certains médecins recommandent que la valeur standard du facteur de correction métabolique sur le moniteur TC de -4 ou -5 mmHg (-0,5 ou -0,65 kPa) soit remplacée par -8 ou -10 mmHg (-1 ou -1,3 kPa) pour les mesures sur les nouveau-nés. Cela est dû à la structure de la peau infantile. C'est aussi la raison pour laquelle les mesures TC de CO_2 et surtout de O_2 ont une corrélation beaucoup plus importante avec la $PaCO_2$ et la PaO_2 chez les nouveau-nés que chez les adultes.

Conditions opératoires

Pour obtenir des résultats fiables, il est recommandé d'avoir des conditions standard :

- Température ambiante 5-40 °C
- Humidité relative 20-80 %.

Notes

18. Kesten S, Chapman KR, Rebuck AS. Response characteristics of a dual transcutaneous oxygen/carbon dioxide monitoring system. Chest 1991; 5: 1211-14.
19. Myers CS. Measured results: Pulse oximetry is proving the simple solution to many COPD disease management programs' success. The Journal for Respiratory Care Practitioners 1996; Aug./Sep.: RT 83-86.
20. Palmisano BW, Severinghaus JW. Transcutaneous pCO_2 and pO_2. a multicenter study of accuracy. J Clin Monit 1990; 6: 189-95.
21. Bendjelid K, Schütz N, Stotz M et al. Transcutaneous pCO_2 monitoring in critically ill adults: Clinical evaluation of a new sensor. Crit Care Med 2005; 33, 10: 2203-06.
22. Janssens J-P, Howarth-Frey C, Chevrolet J-C *et al*. Transcutaneous pCO_2 to monitor noninvasive mechanical ventilation in adults. Chest 1998; 113: 768-73.
23. Berkenbosch JW, Lam J, Burd RS *et al*. Noninvasive monitoring of carbon dioxide during mechanical ventilation in older children: End-tidal versus transcutaneous techniques Anesth Analg (Pediatric Anesthesia) 2001; 92: 1427-31.
24. Rodriguez P, Lellouche F, Aboab J *et al*. Transcutaneous arterial carbon dioxide pressure monitoring in critically ill adults patients. Intensive Care Med 2006; 134: 309-12.
25. Rodriguez P, Lellouche F, Aboab J *et al*. Transcutaneous arterial carbon dioxide pressure monitoring in critically ill adults patients, supplementary material. http://dx.doi.org/10.1007/s00134-005-0006-4
26. Strauss MB, Winant DM, Strauss AG *et al*. Cigarette smoking and transcutaneous oxygen tensions: A case report. Undersea Hyperbaric Medical Society 2000; 27, 1: 43-46.
27. Janssens J-A, Laszlo A, Uldry C *et al*; Non-invasive (transcutaneous) monitoring of pCO_2 ($tcpCO_2$) in older adults. Gerontology 2005; 51: 174-78.

Choix des sites de mesure

Site de mesure optimal

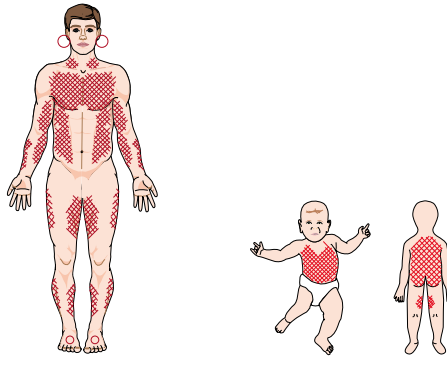
Les sites optimaux de mesures TC sont ceux présentant une bonne perfusion cutanée. En général, on obtient la meilleure estimation de la pCO_2/pO_2 artérielle centrale avec le capteur sur le torse à une température de capteur élevée (max. 44-45 °C).

Préparation du site de mesure

Le site sélectionné ne doit pas présenter de veines importantes, de défauts cutanés, de pilosité, ni de graisse (huile, crème ou graisse fœtale). Si nécessaire, raser le site et le nettoyer à l'alcool. Placer le capteur directement sur un os peut fausser les mesures. Un œdème sévère rendra aussi les résultats moins fiables.

Ne pas placer le capteur directement sur un site d'opération (patients opérés du cœur, des poumons ou des seins). Ces zones sont mal perfusées à cause des cicatrices. Il n'est pas recommandé d'utiliser les capteurs TC sur des patients ayant des problèmes dermatologiques graves dus à un traitement au Prednisolone, à des brûlures ou à des réactions allergiques, etc...

Sites de mesure de tcpCO_2 et de tcpO_2



- Lobe de l'oreille (capteur de tcpCO_2 simple ou combiné de tcpCO_2/SpO_2)
- Visage (*)
- Latéralement sur le cou (peu utilisé)
- Torse à l'espace intercostal (meilleure appréciation de la PaO_2/$PaCO_2$)
- Abdomen latéral chez les adultes maigres, les enfants et les nouveau-nés
- Dos (surtout les nouveau-nés)
- Côté intérieur du bras et de l'avant bras
- Fessier (surtout les nouveau-nés et les patients ischémiques)
- Cuisse (mesures de tcpO_2 chez les nourrissons ou les artériopathies oblitérantes)
- Jambes (diagnostic des artériopathies/ischémies des membres inférieurs)

Changement de sites de mesure

La chaleur du capteur peut provoquer une hyperthermie cutanée, qui disparaît en 5-15 minutes. Cependant, chez les patients ayant la peau fragile, cette hyperthermie locale peut durer 24 heures ou davantage. Si le capteur est laissé trop longtemps au même endroit, il peut y avoir un risque de brûlure. Il faut donc changer régulièrement la zone de mesure.

Monitorage TC chez les nouveau-nés et les enfants

Les nouveau-nés et les jeunes enfants ont une peau très fine qui permet des mesures fiables sur le fessier et sur le dos, mais ils sont plus vulnérables à la chaleur du capteur. Il est donc important, soit d'abaisser la température de mesure, soit de changer plus fréquemment la zone de mesure, surtout sur les

* Certains médecins refusent d'utiliser ce site à cause du risque de réactions cutanées

enfants très prématurés. Pour cela, on peut prévoir trois anneaux de fixation et changer le capteur de position entre ces anneaux. Ne pas oublier de bien sécher l'anneau et de le remplir avant chaque utilisation. Ceci devrait permettre d'éviter le plus possible de gêner l'enfant. Les anneaux doivent cependant être retirés toutes les 12-24h, selon l'état de la peau [19].

Eviter toute pression sur le capteur

Eviter toute pression directe sur le capteur pendant qu'il est fixé sur le patient. Le patient ne doit jamais être couché sur le capteur. Une pression directe peut invalider les mesures et/ou causer une nécrose cutanée.

Notes

19. Myers CS. Measured results: pulse oximetry is proving the simple solution to many COPD disease management programs' success. The Journal for Respiratory Care Practitioners 1996; Aug./Sep.: RT 83-86.

Choix de la température de mesure

Température optimale de mesure transcutanée

La température optimale de mesure transcutanée est de 42-45 °C. Cependant, la durée de la mesure et les conditions de diffusion de la peau sont importantes lors du choix de la température.

- La meilleure représentation de la pO_2/pCO_2 des artères centrales s'obtient avec une température élevée : 44 °C
- Plus la température est élevée, plus le temps de réponse est faible
- La diffusion de la peau dépend du patient. La peau fine des nouveau-nés et des enfants permet d'obtenir des résultats fiables à des températures plus basses que sur des adultes

Les valeurs de $tcpCO_2/tcpO_2$ peuvent être obtenues à des températures basses de 37-38,5 °C mais les valeurs mesurées ne reflètent pas exactement les gaz du sang artériels, ces températures sont donc seulement utilisées dans des conditions de recherche cliniques bien spécifiques.

Réduction du risque de réactions cutanées

Pour réduire le risque de brûlure, il est indispensable de changer la zone de mesure régulièrement et/ou d'utiliser une température de mesure plus basse. On peut obtenir une bonne corrélation de la mesure en choisissant une température de mesure élevée pendant les 5 premières minutes (43-45°C), une option qui est automatisée sur certains moniteurs. Cela augmente la dilatation des capillaires et la quantité de gaz qui se diffuse à travers la structure lipidique de la peau. Ces effets persisteront après l'abaissement automatique de la température par la fonction SmartHeat [3].

Les patients présentant les conditions cliniques suivantes ont un risque élevé d'être «brûlés» par le capteur :

- Choc
- Pression sanguine trop basse
- Tendance à la vasoconstriction systémique
- Peau très sensible

Nouveau-nés et enfants

En néonatalogie et en pédiatrie, il est courant de régler la température du capteur de tcpCO_2/tcpO_2 à 42,5-43°C pendant 2-4 heures, ou 44°C pendant 2 heures au maximum. Pour des nouveau-nés très prématurés, une température de seulement 42°C pourrait s'imposer [28,29].

Il a été démontré que le dioxyde de carbone transcutané chez les nouveau-nés a une corrélation étroite avec la $PaCO_2$ à une température de capteur de 40-44°C. La mesure de l'oxygène, quant à elle, est optimale à 42-44°C [27].

Le recours à la fonction SmartHeat (augmentation de la température du capteur de 1°C pendant les 5 premières minutes) ne peut être recommandée que pour les enfants de plus de 1kg [28].

Note : Le délai de stabilisation physiologique du capteur est de 15-20 minutes pour les mesures tcpO_2 et de 3-7 minutes pour les mesures tcpCO_2. Durant ce laps de temps, le capteur chauffe doucement la peau pour dilater les artères. Un délai de stabilisation plus long peut indiquer la nécessité de changer la membrane. La mauvaise fixation du capteur, un site de mesure inadapté ou l'âge du capteur pourraient aussi en être la cause.

Adultes

Pour les adultes, la température et le temps de mesure optimum pour la tcpCO_2 et tcpO_2 sont 44-45°C jusqu'à 4 heures. Cependant, si la mesure de la tcpCO_2 doit être prolongée, la littérature fait référence à des températures de 43°C en fonction de l'état de la peau du patient. Beaucoup de laboratoires du sommeil utilisent des températures de 42-43°C [30].

Une étude a montré qu'une température de capteur de 43°C pouvait être tolérée pendant 5-8 heures de mesures continues [30].

Capteur au lobe de l'oreille de tcpCO_2 simple ou combiné de tcpCO_2/SpO_2

A noter, un capteur simple de tcpCO_2 ou combiné de tcpCO_2/SpO_2 placé sur le lobe d'oreille permet d'obtenir des estimations fiables du CO_2 chez les adultes à partir de 42°C pendant plus de 8 heures sans changer de site de mesure ni calibrer le capteur (21).

Notes

3. Wimberley PD, Pedersen KG, Olsson J. Transcutaneous carbon dioxide and oxygen tension measured at different temperatures in healthy adults. Clin Chem 1985; 31, 10: 1611-15.
21. Bendjelid K, Schütz N, Stotz M *et al*. Transcutaneous pCO_2 monitoring in critically ill adults: Clinical evaluation of a new sensor. Crit Care Med 2005; 33, 10: 2203-06.
27. Janssens J-A, Laszlo A, Uldry C *et al*. Non-invasive (transcutaneous) monitoring of pCO_2 (tcpCO_2) in older adults. Gerontology 2005; 51: 174-78.
28. Lundstrøm KE. Continuous blood gas monitoring in neonates and infants. Radiometer Medical ApS, Åkandevej 21, 2700 Brønshøj, Denmark, 2005 (928-408). 200502B 1-16, (www.tc-monitoring.com).
29. Rüdiger M, Töpfer, Hammer H *et al*. A survey of transcutaneous blood gas monitoring among European neonatal intensive care units. Neonatal Intensive Care 2007; 20, 3: 37-40.
30. Frederiksen PS, Wimberley PD, Melberg SG *et al*. Transcutaneous pCO_2 at different temperatures in newborns with respiratory insufficiency: Comparison with arterial pCO_2. In: Continuous transcutaneous blood gas monitoring. Huch R; Huch A. New York: Marcel Dekker inc.; 1983: p. 233-40.

Applications du monitorage TC

Un large champ d'applications

Le suivi transcutané peut être appliqué à de nombreux segments de patients. Initialement, c'est un outil fiable pour le suivi de l'état du CO_2 et de l'O_2 sanguin chez les nouveau-nés. Il est devenu une méthode applicable aux patients cardiovasculaires et respiratoires de tous âges. Mis à part en médecine hyperbare où l'accent est mis sur la tc*p*O_2 locale, de plus en plus de médecins reconnaissent les avantages de mesures fiables et continues de la tc*p*CO_2.

Cette partie décrit les applications du suivi de la tc*p*CO_2 (et dans une certaine mesure du suivi de la tc*p*O_2) dans les contextes cliniques suivants :

- Néonatalogie
- Pédiatrie
- Blocs opératoires, USI et unités intermédiaires
- Médecine pulmonaire/respiratoire en matière de recherche et de traitement
- Laboratoires du sommeil
- Laboratoires et hôpitaux vétérinaires

Pourquoi le suivi de la pCO_2/pO_2 artérielle est-il essentiel ?

Le suivi continu des niveaux de dioxyde de carbone et d'oxygène est primordial chez les nouveau-nés malades. Des changements peuvent arriver rapidement. Un suivi intermittent ou des gazométries répétées risquent de ne pas détecter ces changements et de causer des lésions aux organes. [28].

Baisse du dioxyde de carbone artériel

Une baisse de la $PaCO_2$ a pour effet une diminution du flux sanguin cérébral, plusieurs études ayant montré une forte corrélation entre une $PaCO_2$ basse et des effets cérébraux adverses. Pour des valeurs inférieures à 22,5 mmHg (3,0 kPa), des lésions peuvent se produire en quelques minutes, mais une exposition à des pressions partielles plus élevées (mmHg) pendant une période prolongée peut également s'avérer dangereuse. Il est donc important de surveiller les niveaux de dioxyde de carbone [28,31,32, 33].

Réduire le nombre de prélèvements sanguins

Les analyses d'échantillons sanguins fournissent des informations précises sur les gaz du sang. Cependant, elles ne reflètent qu'un certain moment du statut. Des prises répétées risquent de stresser le nouveau-né et de rendre nécessaire une transfusion sanguine. Des changements importants de la circulation cérébrale et de l'oxygénation ont été observés lors de prises de sang par cathéter placé dans les artères ombilicales. Les prises doivent donc être réduites au minimum et combinées avec un monitorage transcutané du dioxyde de carbone et de l'oxygène. La technique TC fournit des informations continues sur la capacité du nouveau-né à apporter l'oxygène aux tissus et à éliminer le CO_2 via le système cardio-pulmonaire. La technique TC suit l'évolution et les changements de ces gaz [28,34].

L'hypocapnie et les lésions pulmonaires

L'hyperventilation entraîne une hypocapnie. Il a été démontré qu'une pCO_2 basse, aussi bien avant un traitement par surfactant que pendant un traitement par ventilation, était corrélée avec le développement de maladies pulmonaires chroniques chez les prématurés. Il est donc conseillé de suivre la pCO_2 en continu d'un prématuré sous ventilation pour minimiser le risque de lésions pulmonaires [28,35].

Ventilation

La ventilation assistée peut entraîner un pneumothorax ; un diagnostic rapide améliorera probablement le pronostic du patient. Malheureusement, ce diagnostic est souvent fait trop tard. Une étude a montré que le diagnostic est établi en moyenne 127 minutes après la crise. Une $tcpCO_2$ élevée sans changement de l'oxygénation peut être indicatrice de cet état. Une intervention plus rapide est possible car la $tcpCO_2$/$tcpO_2$ suit en continu les fluctuations des tensions de dioxyde de carbone et d'oxygène avec un retard minime [28,36].

$tcpCO_2$ et $tcpO_2$ de fin d'expiration

Une étude comparant la pCO_2 de fin d'expiration et la $tcpCO_2$ a montré que l'écart entre la pCO_2 de fin d'expiration et la $PaCO_2$ augmentait considérablement pendant la ventilation d'un poumon car la ventilation d'un seul poumon entrave l'équilibre ventilation/perfusion. Cette même étude a montré que la $tcpCO_2$ reflétait mieux la $PaCO_2$ que la pCO_2 de fin d'expiration [37]. Chez les nourrissons atteints de maladies cardio-pulmonaires, la pCO_2 de fin d'expiration a peu de rapport avec les valeurs artérielles et ne doit donc pas être utilisée. Plusieurs études concluent que ces patients sont mieux suivis par la $tcpCO_2$ [37,38, 39].

Note : Chez les patients atteints de persistance du canal artériel ou de pontage de gauche à droite, la tc*p*CO_2 sera plus élevée dans le thorax supérieur que dans le thorax inférieur. Chez ces patients, le capteur devrait être placé en bas du dos, sur l'abdomen ou sur la cuisse. De plus, il faudrait prélever des échantillons artériels du même côté du pontage que les mesures de la tc*p*CO_2 [40,41].

Ventilation oscillatoire haute fréquence (VOHF)

Puisque seule la voie proximale est contrôlée pendant une ventilation à oscillations haute fréquence (VOHF), il n'y a aucune alerte s'il y a obstruction ou restriction des voies respiratoires. Cette technique implique aussi un risque d'hyperventilation pouvant causer une hypocapnie. C'est pourquoi beaucoup de fabricants de VOHF recommandent un suivi continu de la tc*p*CO_2/tc*p*O_2 et de la SpO_2 pendant ce type de traitement. Ces précautions s'avèrent particulièrement pertinentes chez les enfants plus âgés qui présentent un plus grand espace mort et qui ont des besoins métaboliques plus importants sous ventilation [42].

Hyperoxie chez les enfants

Chez les nouveau-nés prématurés, l'hyperoxie réduit le flux sanguin cérébral pendant des heures après rétablissement de l'état respiratoire. Cette même hyperoxie a un effet toxique sur les poumons et peut causer une rétinopathie chez les enfants prématurés. Le suivi de la tc*p*O_2 est un moyen de détection précoce de l'hyperoxie qui n'est pas toujours détectée par des mesures de SpO_2 [28, 43, 29].

Consignes cliniques sur les mesures TC

La pertinence du suivi transcutané est confirmée par les consignes de l'American Association for Respiratory Care (AARC) et les consignes du National Clearinghouse Guidelines (US).

Consignes du National Clearinghouse (US)

L'AARC recommande le recours au suivi transcutané du dioxyde de carbone et de l'oxygène chez les enfants et nouveau-nés en cas de :

- Besoin de contrôler l'efficacité de l'oxygénation artérielle et/ou ventilation
- Besoin de quantifier les effets d'interventions diagnostiques et thérapeutiques par les valeurs de tc*p*CO_2 et tc*p*O_2

Ces recommandations précisent que la tcpCO_2 et la tcpO_2 conviennent au suivi continu et prolongé, par exemple pendant une ventilation mécanique, une pression positive continue des voies respiratoires et un apport d'oxygène. De plus, la tcpCO_2 peut être utilisée à des fins diagnostiques et dans l'évaluation de pontages fonctionnels par exemple chez des nouveau-nés présentant une hypertension pulmonaire persistante ou une circulation fœtale persistante, ou pour déterminer la réponse à une manipulation de l'oxygène pour détecter une maladie cardiaque congénitale [41, 44].

Notez que pendant des études de ventilation chez des patients ayant un pontage fonctionnel, le capteur doit être placé du même côté du pontage par rapport au site de prélèvement des échantillons sanguins. [41,44].

Le suivi de la tcpCO_2 et de la tcpO_2 doit être appliqué de façon continue afin de collecter des informations sur les tendances. Des vérifications ponctuelles (des mesures de courtes durées intermittentes) ne sont pas appropriées [41,44].

Conclusion

Pour résumer, le suivi transcutané du dioxyde de carbone et de l'oxygène devrait être utilisé sur des nouveau-nés dès qu'il y a un risque de variations brutales des niveaux de dioxyde de carbone ou d'oxygène, par exemple dans les situations suivantes :

- Asphyxie, hémorragie de la couche germinale, méningite ou traumatisme crânien
- Syndrome de détresse respiratoire
- Hypertension pulmonaire persistante ou pneumothorax
- Pendant un traitement tensio-actif
- Pendant un traitement dépendant d'une des diverses formes de ventilation assistée
- Pendant le sevrage de la ventilation assistée ou un changement de la stratégie de ventilation
- Après l'extubation

Notes

28. Lundstrøm KE. Continuous blood gas monitoring in neonates and infants. Radiometer Medical ApS, Åkandevej 21, 2700 Brønshøj, Denmark, 2005 (928-408). 200502B 1-16, (www.tc-monitoring.com).
29. Rüdiger M, Töpfer, Hammer H *et al*. A survey of transcutaneous blood gas monitoring among European neonatal intensive care units. Neonatal Intensive Care 2007; 20, 3: 37-40.
30. Frederiksen PS, Wimberley PD, Melberg SG *et al*. Transcutaneous pCO_2 at different temperatures in newborns with respiratory insufficiency: Comparison with arterial pCO_2. In: Continuous transcutaneous blood gas monitoring. Huch R; Huch A. New York: Marcel Dekker inc.; 1983: p. 233-40.
31. Graziani LJ, Spitzer AR, Mitchell DG *et al*. Mechanical ventilation in preterm infants. Neurosonographic and developmental studies. Pediatrics 1992; 90: 515-22.
32. Greisen G, Vannucci RC. Is periventricular leucomalacia a result of hypoxic-ischaemic injury? Hypocapnia and the preterm brain. Biol Neonate 2001; 79: 194-200.
33. Ambalavanan N, Carol WA. Hypocapnia and hypercapnia in respiratory management of newborn infants. Clinics in Perinatology 2001; 28, 3: 517-31.
34. Roll C, Hüning B, Käunicke M *et al*. Umbilical artery catheter blood sampling decreases cerebral blood volume and oxygenation in very low birthweight infants. Acta Paediatr 2000; 89: 862-66.
35. Garland JS, Buck RK, Allred EN *et al*. Hypocarbia before surfactant therapy appears to increase bronchopulmonary dysplasia risk in infants with respiratory distress syndrome. Arch Pediatr Adolesc Med 1995; 149, 6: 617-22.
36. McIntosh N, Becher JC, Cunningham S *et al*. Clinical diagnosis of pneumothorax is late: Use of trend data and decision support might allow preclinical detection. Pediatr Res 2000; 48, 3: 408-15.
37. Wilson J, Russo P, Russo JA *et al*. Noninvasive monitoring of carbon dioxide in infants and children with congenital heart disease: End-tidal versus transcutaneous techniques. J Intensive Care Med. 2005; 20, 5: 291-95.
38. Short JA, Paris ST, Booker PD *et al*. Arterial to end-tidal carbon dioxide tension difference in children with congenital heart disease. Br J Anaesth 2001; 86, 3: 349-53.
39. Carter BG, Wiwcazaruk D, Hochmann M *et al*. Performance of transcutaneous pCO_2 and pulse oximetry monitors in newborns and infants after cardiac surgery. Anaesth Intensive Care 2001; 29: 260-65.
40. Poets CF. Pulse oximetry vs. transcutaneous monitoring in neonates: Practical aspects. www.bloodgas.org 2003; October: Neonatology.
41. Sitting SE. AARC clinical practice guideline; transcutaneous blood gas monitoring for neonatal & pediatric patients – 2004 revision & update. Respiratory Care 2004; Sep. 49, 9: 1069-72.
42. User's manual for SensorMedics, Critical Care; Clinical Guidelines for 3100A HFOV chapter 8.1 (version 0595H)
43. Lundstrøm KE, Pryds O, Greisen G. Oxygen at birth and prolonged cerebral vasoconstriction in preterm infants. Arch Dis Cild 1995; 73: F81-F86.
44. American Association for Respiratory Care. Transcutaneous blood gas monitoring for neonatal & pediatric patients – 2004 revision and update; American Association for Respiratory Care. www.guideline.gov

Pédiatrie

Monitorage transcutané de la pCO_2/pO_2 chez les enfants

La pertinence clinique du suivi transcutané du CO_2 a été démontrée dans le traitement des troubles respiratoires des nouveau-nés et enfants de tous âges [45, 46, 47].

La réactivité cérébro-vasculaire des jeunes enfants au CO_2 est comparable à celle des nouveau-nés, et le risque d'ischémie cérébrale par hypocapnie est similaire à celui des nouveau-nés. C'est pourquoi le suivi continu du dioxyde de carbone transcutané est nécessaire sur ces deux catégories de patients [28, 48].

Virus respiratoire syncytial et autres infections virales

Chez les jeunes enfants, les infections respiratoires syncytiales virales posent un risque d'insuffisance respiratoire grave, qui est la cause la plus fréquente d'hospitalisation dans certains pays [49, 50].

Beaucoup d'enfants ont peur de l'équipement et du personnel hospitaliers. Ces angoisses peuvent subsister bien après avoir quitté l'hôpital. Il est donc très important de minimiser la surveillance invasive. Le suivi transcutané des évolutions du dioxyde de carbone et de l'oxygène permet la surveillance non invasive de l'état respiratoire.

Aide respiratoire

Le suivi transcutané des gaz du sang est une aide importante pour la détection du besoin et la mise en oeuvre d'une ventilation assistée. Il permet en outre de détecter d'éventuelles complications telles que l'obstruction de l'appareil ou des voies respiratoires supérieures.

Apnées obstructives du sommeil et autres troubles respiratoires liés au sommeil

La tcpCO_2 et la pCO_2 de fin d'expiration pendant une polysomnographie permettent de détecter une apnée obstructive pédiatrique. Plusieurs études ont montré que les échanges de gaz chez les enfants souffrant de BPCO sont suivis de façon satisfaisante par la tcpCO_2/tcpO_2. La tcpCO_2 est particulièrement utile pour les enfants qui ne tolèrent pas le prélèvement nasal et pour ceux souffrant d'une obstruction modérée ou sévère des voies aériennes partielles, de tachypnée ou d'espace mort physiologique important, où la pCO_2 de fin d'expiration sous-estime le niveau de la pCO_2 artérielle. Il s'est avéré que la tcpCO_2 permet une estimation précise de la $PaCO_2$ sur une large plage de valeurs de CO_2 chez les patients en pédiatrie et chez les patients plus âgés présentant des insuffisances respiratoires [23, 51, 52, 53].

Asthme

L'OMS estime que 300 millions de personnes (adultes et enfants) sont atteintes d'asthme et que 2 550 000 en sont morts en 2005. L'asthme est la maladie chronique la plus courante chez les enfants, et les chiffres ne font qu'augmenter. De 1980 à 1994, la prévalence de l'asthme aux Etats-Unis a augmenté de plus de 160% chez les enfants de moins de 5 ans, et plus de 9 millions d'enfants mineurs ont été diagnostiqués asthmatiques (1998). Chez ces patients, un test de provocation de la fonction pulmonaire peut être nécessaire [54, 55].

Mesures de la fonction pulmonaire

Une chute de 20 % de la tcpO_2 peut être utilisée comme indicateur d'une réaction bronchique pendant une provocation histaminique bronchique chez les jeunes enfants réveillés. Les changements de ventilation évalués par la tcpCO_2 permettent de distinguer une chute d'oxygène due à une «fausse» réaction résultant d'une hypoventilation et une «vraie» réaction bronchique. [56].

Une étude sur les mesures de la fonction pulmonaire des jeunes enfants de 2 à 6 ans à l'état de veille a montré que l'on peut évaluer la fonction pulmonaire par les mesures transcutanées, l'oscillation forcée (Rrs5*), la pléthysmographie corporelle totale (sRaw*), la réactance respiratoire (Xrs5*) et la technique d'interruption du débit aérien (Rint*). Toutes ces techniques sont des outils fiables pour surveiller la réaction à une épreuve de provocation bronchique par produits pharmaceutiques. La reproductibilité des mesures ainsi que la sensibilité aux changements de la fonction respiratoire sont bonnes, en comparaison avec les techniques traditionnelles telles que la manœuvre d'expiration maximale (VEMS*), pour des jeunes enfants. Les jeunes enfants sont physiquement incapables d'effectuer une VEMS correctement [57,58].

Rrs5 = Résistance respiratoire (mesurée par oscillation).
Rint = Technique d'interruption pour mesurer la résistance respiratoire.
sRaw = Pléthysmographie corporelle totale pour mesurer des résistances respiratoires spécifiques.
VEMS = Volume expiratoire maximal par seconde, VEMS% de capacité vitale (CV).
Xrs5 = Réactance respiratoire (mesurée par oscillation) (La méthacoline a été utilisée comme agent de test pharmaceutique) [57,58].

Epreuve d'effort

Les études hémodynamiques pendant un cathétérisme cardiaque sur des enfants sont généralement faites au repos. Cette méthode pourrait ne pas détecter les shunts droite-gauche résultant de l'effort. Le suivi de la $tcpO_2$ pendant une épreuve d'effort est un moyen non invasif de détecter ces shunts [59].

Autres indications du suivi TC

Voir la partie néonatalogie de ce livret, la plupart des sujets s'appliquant aussi bien aux enfants qu'aux nouveau-nés.

Notes

23. Berkenbosch JW, Lam J, Burd RS et al. Noninvasive monitoring of carbon dioxide during mechanical ventilation in older children: End-tidal versus transcutaneous techniques Anesth Analg (Pediatric Anesthesia) 2001; 92: 1427-31.
28. Lundstrøm KE. Continuous blood gas monitoring in neonates and infants. Radiometer Medical ApS, Åkandevej 21, 2700 Brønshøj, Denmark, 2005 (928-408). 200502B 1-16, (www.tc-monitoring.com).
45. Lagerkvist A-L, Sten G, Redfors S *et al*. Repeated blood gas monitoring in healthy children and adolescents by the transcutaneous route. Paediatric Pulmonology 2003; 35: 274-79.
46. Nosovitch MA, Johnson JO, Tobias JD. Noninvasive intraoperative monitoring of carbon dioxide in children; endtidal versus transcutaneous techniques. Paediatric anaesthesia 2002; 12: 48-52.
47. Simonds AK, Ward S, Heather S *et al*. Outcome of paediatric domiciliary mask ventilation in neuromuscular and skeletal disease. Eur Respir J 2000; 16: 476-81.
48. Berkenbosh JW, Tobias JD. Transcutaneous carbon dioxide monitoring during high-frequency oscillatory ventilation in infants and children. Crit Care Med 2002; 30, 5: 1024-27.
49. Nielsen LM, Halgrener J, Hansen BVL. Respiratorisk syncytialvirus-infektioner hos børn i almen praksis. Ugeskrift for læger: Videnskab og praksis 2003; 165,27: 2747-49.
50. Hall CB. Respiratory syncytial virus and parainfluenza virus. N Engl J Med 2001; 344: 1927-28.
51. Gaultier C, Praud JP, Clément A *et al*. Respiration during sleep in children with COPD. Chest 1985; 87, 2: 168-73.
52. Morielli A, Desjardins D, Brouillette RT. Transcutaneous and end-tidal carbon dioxide pressures should be measured during pediatric polysomnography. Am Rev Respir Dis 1993; 148, 6: 1599-1604.
53. Tobias JD, Meyer DJ. Noninvasive monitoring of carbon dioxide during respiratory failure in toddlers and infants: End-tidal versus transcutaneous carbon dioxide. Anesth Analg 1997; 85: 55-58.
54. Center for Disease Control Surveillance for Asthma – US, 1960-1995 MMWR. 1998; (SS-1); http://www.AAAAI.org/media/resources/media_kit/asthma_statistics.stm
55. http://www.who.int/int/respiratory/asthma/en/
56. kilde Holmgren D, Redfors S, Wennergren G *et al*. Histamine provocation in young, awake children with bronchial asthma, using a fall in oxygenation as the only indicator of a bronchial reaction 1999; Acta. Pædiatr 88: 545-9.
57. Klug BH. Evaluation of some techniques for measurements of lung function in young children. Lægeforeningens forlag, København 2002: 1-21 (Doctor's thesis)
58 Quanjer PH *et al*. Become an expert in spirometry 2006. http://www.spirxpert.com/indices 7.htm59. Holmgren D; Redfors S, Solymar L. Transcutaneous-pO_2 monitoring for detection of exercise-induced right-to-left shunts in children with congenital heart defects: A case report. Acta Paediatr 2001; 90: 816-8.
59. Holmgren D; Redfors S, Solymar L. Transcutaneous-pO_2 monitoring for detection of exercise-induced right-to-left shunts in children with congenital heart defects: A case report. Acta Paediatr 2001; 90: 816-8.

Blocs opératoires, USI et unités intermédiaires

Dioxyde de carbone chez les adultes gravement malades

Dans les unités de soins intensifs (USI), il est vital de suivre continuellement le dioxyde de carbone artériel. Cela est en général fait par l'analyse de sang artériel ou par dérivation des mesures de la pCO_2 de fin d'expiration. Les prises de sang artériel impliquent une ponction artérielle ou la pose d'un cathéter avec les risques et désagréments qu'ils impliquent. De plus, les gaz sanguins ne sont analysés que par intermittence. La pCO_2 de fin d'expiration est un mauvais prédicteur de la $PaCO_2$, du fait qu'il la sous estime en général. La corrélation entre les deux valeurs varie grandement en fonction du taux ventilation/perfusion et du débit cardiaque. Ainsi, le suivi de la $tcpCO_2$ est une alternative d'estimation non invasive du dioxyde de carbone artériel sans les inconvénients de la pCO_2 de fin d'expiration [4, 21].

Etudes de corrélation entre $tcpCO_2$ et $PaCO_2$

Beaucoup d'études TC indiquent la corrélation entre la $tcpCO_2$ et la $PaCO_2$; l'avantage principal de la technique de mesure de la $tcpCO_2$ est qu'elle est non invasive et suit l'évolution de la $PaCO_2$ dans un délai inférieur à de 1 minute. Un nombre important d'études de corrélation TC sont citées dans les pages suivantes.

Une étude majeure a testé la corrélation entre la $tcpCO_2$ et la $PaCO_2$ pour un grand nombre de valeurs de dioxyde de carbone artériel : 26-71 mmHg (3,4 - 9,4 kPa). Les auteurs de cette étude ont trouvé une corrélation étroite ($r= 0,968$, $p < 0,0001$) ; le biais moyen était de 0,75 mmHg (0,1 kPa) (limite d'agrément : –4,5 à 6 mmHg (0,6 à 106,7 kPa).

Cette même étude incluait une revue de 16 autres études sur la corrélation entre la tcpCO_2 et la $PaCO_2$. En règle générale, ces études ont montré une bonne corrélation. Pour les auteurs, certaines erreurs semblaient être dues à :

- Un capnographe particulier (pour les études du sommeil)
- Un manque de calibration avant chaque mesure
- Temps de stabilisation du capteur insuffisant
- Une perfusion cutanée insuffisante

Il a été conclu que la tcpCO_2 des patients dans un état hémodynamique stable correspondait bien à la $PaCO_2$ et que le temps de réponse aux changements de ventilation était compatible avec un suivi non invasif des patients mécaniquement ventilés [22].

Deux études récentes ont révélé une corrélation similaire mais cette fois avec des valeurs de dioxyde de carbone encore plus différentes : 21-85 mmHg (2,8-11,33 kPa) 38-165 mmHg (5-22 kPa) [60, 61].

A ce jour, aucune étude n'a évalué la tcpCO_2 normale ni de référence pour des groupes de patients différents. Ceci est probablement dû au fait que le suivi transcutané est un outil de surveillance des variations de dioxyde de carbone [62].

Le monitorage transcutané du CO_2 s'est révélé fournir une meilleure estimation de la $PaCO_2$ que la pCO_2 de fin d'expiration pendant l'anesthésie générale de patients ayant une IMC supérieure à 40 kg/m^2 [63].

Evolutions transcutanées des patients gravement malades

Une nouvelle étude s'est concentrée sur la tcpCO_2 des patients en état critique, qui varie de plus de 8 mm Hg (1,06kPa) par rapport à la valeur de $PaCO_2$ correspondante. L'objectif

était d'évaluer si des changements de dioxyde de carbone se reflétaient dans le changement de tendance tcpCO_2. Un changement de tendance tcpCO_2 est défini ainsi : une différence entre la tcpCO_2 et la $PaCO_2$ supérieure à 8 mm Hg (1,06 kPA). Les résultats suivants ont été obtenus :

Sensibilité	Spécificité	VPP*	VPN*
86 %	80 %	60 %	97 %

*Valeur Prédictive Positive ou Négative

Les sujets de l'étude présentaient des chocs sceptiques, des arrêts cardiaques, des chocs cardiogéniques et d'autres symptômes. En conclusion, la tcpCO_2 s'est montrée être un outil fiable de suivi des tendances tant qu'il n'y a pas de vasoconstriction majeure [24, 25].

Maintien de tcpCO_2 élevée chez les patients traumatiques

Des valeurs élevées de tcpCO_2 pendant la première heure suivant l'admission à l'hôpital ont montré une bonne corrélation avec la mortalité des patients traumatiques. Les patients étaient suivis par tcpCO_2 dès leur admission. On a pu établir une relation entre les signes précoces d'une faible perfusion pendant la première heure et les survivants et les non survivants. Le maintien d'une valeur de tcpCO_2 élevée pendant plus de 30 minutes est associé à un taux de mortalité de 100% [4, 64].

Ventilation par oscillation haute fréquence et ventilation par pression positive non invasive

La mesure combinée de tcpCO_2/SpO_2 est pertinente dans un cadre clinique de ventilation par pression positive non invasive et ventilation par oscillation haute fréquence (VOHF), alors que l'$EtCO_2$ (CO_2 de fin d'expiration) peut être difficile ou

impossible à mesurer. La tcpCO_2 s'est révélée être un outil de régulation de la pression de ventilation pour les patients sous bronchoscopie rigide pendant une jet-ventilation à haute fréquence (JVHF). Cela est particulièrement utile pour les patients obèses avec complications pulmonaires et pendant les interventions endobronchiques prolongées [66, 76].

Puisque seule la voie proximale est contrôlée pendant une VOHF et une JVHF, il n'y aura aucune alerte s'il y a obstruction ou restriction des voies respiratoires. Cette technique implique aussi un risque d'hyperventilation pouvant causer une hypocapnie. Les fabricants de VOHF recommandent la mesure de la tcpCO_2/tcpO_2 et de la SpO_2 pendant le traitement. Ces précautions s'avèrent particulièrement pertinentes chez les enfants plus âgés et les adultes qui présentent un plus grand espace mort et qui ont des besoins métaboliques plus importants sous ventilation [42].

Insuffisance respiratoire hypercapnique et oxygénothérapie

Une étude de la ventilation en pression positive intermittente conseille une détermination initiale des gaz du sang artériel, puis un suivi par oxymétrie de pouls et un suivi de la tcpCO_2 pendant le sommeil pour les patients en insuffisance respiratoire hypercapnique sous oxygénothérapie [67].

Ventilation mono pulmonaire

Plusieurs facteurs peuvent influer sur la différence entre la $PaCO_2$ et la pCO_2 de fin d'expiration pendant une anesthésie thoracique. Beaucoup de patients de chirurgie thoracique ont un dysfonctionnement pulmonaire préopératoire et sont fumeurs. La ventilation mono pulmonaire est souvent utilisée pour augmenter l'exposition chirurgicale pendant des interventions thoraciques. Cependant, la ventilation mono pulmonaire gène l'équilibre ventilation/perfusion. Plusieurs études ont conclu que les patients sous traitement mono pulmonaire sont mieux suivis par la tcpCO_2 que par la pCO_2 de fin d'expiration [68, 69].

Hypertension pulmonaire secondaire

Les patients atteints de BPCO, d'apnée obstructive du sommeil ou de mucoviscidose présentent parfois une hypertension pulmonaire secondaire. La tcpCO_2/ tcpO_2 et la SpO_2 sont parfois utilisées pour aider à l'évaluation de l'état respiratoire de ces patients, nouveau-nés, enfants ou adultes [70, 71, 72, 73].

Choc hypotensif diagnostiqué par tcpO_2

Une étude a évalué plus de 300 cas aigus de dysfonctionnements respiratoires et de chocs dans une USI. On a conclu que *"les mesures non invasives identifient clairement les problèmes circulatoires naissants et fournissent des critères pour l'évaluation physiologique ainsi qu'une désignation des objectifs thérapeutiques et un titrage des traitements"*. Les mesures transcutanées d'oxygène et de dioxyde de carbone ont été utilisées pour mesurer la perfusion des tissus et leur oxygénation. Les auteurs font référence à plusieurs études ayant documenté (dans un cadre expérimental et clinique) les changements de la tcpO_2 lors d'altérations du métabolisme de l'oxygène. Les auteurs ont conclu que le choc hypotensif était souvent précédé par un épisode de flux élevé, suivi d'un flux faible et d'insuffisance de la perfusion des tissus. Ce dernier étant visible par une réduction de la tcpO_2 [74].

A noter, même si l'oxygène transcutané a une bonne corrélation avec les valeurs artérielles, l'accord entre la tcpO_2 et la PaO_2 montre qu'il ne devrait pas être pris comme le seul outil d'estimation de la PaO_2 chez les adultes, mais plutôt comme un indicateur précoce de choc [20, 27].

Sédation en chirurgie

Sédation

Dans un état de sédation modéré ou profond (pendant des procédures diagnostiques ou thérapeutiques), la fréquence respiratoire est souvent perturbée par des mouvements, une toux ou des changements entre la ventilation par le nez et la bouche, ce qui entraîne des fuites et des artefacts ou une mauvaise interprétation des informations fournies par la pCO_2 de fin d'expiration. Ces problèmes limitent l'utilisation de la capnographie par flux latéral même si l'American Society of Anesthesiologists et l'American Society of Gastrointestinal Endoscopy suggèrent dans leurs recommandations que le suivi externe par capnographie soit une option pour les patients sous sédation consciente et sous sédation profonde [60, 65].

Ces derniers temps, le recours à de nouveaux anesthésiques et à des techniques avancées s'est intensifié. Pendant une sédation modérée, par exemple pendant une coloscopie, certains patients peuvent, par inadvertance, être mis sous sédation jusqu'à l'anesthésie générale. Ces patients peuvent alors présenter des dépressions respiratoires ou des obstructions des voies respiratoires. Dans deux études effectuées chez des patients pendant une colosopie, la SpO_2, tcpCO_2 et pCO_2 de fin d'expiration ont été utilisées pour suivre l'état du patient. A cause de l'apport externe d'oxygène, l'oxymètre de pouls n'a pas détecté les premiers signes d'hypoventilation alors que la tcpCO_2 montrait une hypoventilation prolongée. En conclusion, le suivi de la tcpCO_2 plutôt que de la pCO_2 de fin d'expiration pourrait être mieux adaptée à un patient sous sédation modérée ; cependant, la pCO_2 de fin d'expiration détectait plus rapidement les obstructions des voies respiratoires [60, 65].

Bronchoscopie et BPCO exacerbée

Des études ont montré que la tcpCO_2 augmente souvent quand le patient est sous ventilation assistée pendant une bronchoscopie. Le suivi de la tcpCO_2 aide à régler la ventilation et est un outil pratique pour évaluer le patient en sevrage. Les auteurs de ces études précisent que les variations des niveaux de CO_2 sont aussi pertinentes pour les patients avec une BPCO exacerbée [75, 76].

Endoscopie

Une étude aléatoire a évalué la capacité de détection de l'accumulation de CO_2 par simple observation clinique ou une oxymétrie de pouls chez les patients recevant un supplément d'oxygène. 395 patients ont été suivis par ces 2 méthodes et par tcpCO_2 pendant une cholangiopancréatographie rétrograde endoscopique. Ni l'observation clinique, ni la SpO_2 n'ont détecté de façon fiable une accumulation de dioxyde de carbone. En conclusion, le suivi de la tcpCO_2 évitait une accumulation tissulaire grave de CO_2. Dans 10% des cas, la SpO_2 des patients qui recevaient de l'oxygène supplémentaire ne montrait pas de désaturation alors que la tcpCO_2 avait augmenté de plus de 20 mmHg. De plus, le suivi de la tcpCO_2 facilite une sédation légèrement plus profonde et permet de réduire la durée d'une sédation inadéquate. Les doses de sédatifs et d'analgésiques sont restées les mêmes quelle que soit la technique de surveillance. Cette technique permet un titrage et un programme plus précis des agents pendant une cholangiopancréatographie rétrograde endoscopique [77].

Notes

4. Hill KM, Klein DG. Transcutaneous carbon dioxide monitoring. Crit Care Nurs Clin N Am; 2006; 18: 211-15.
20. Palmisano BW, Severinghaus JW. Transcutaneous pCO_2 and pO_2. a multicenter study of accuracy. J Clin Monit 1990; 6: 189-95.
21. Bendjelid K, Schütz N, Stotz M *et al*. Transcutaneous pCO_2 monitoring in critically ill adults: Clinical evaluation of a new sensor. Crit Care Med 2005; 33, 10: 2203-06.
22. Janssens J-P, Howarth-Frey C, Chevrolet J-C *et al*. Transcutaneous pCO_2 to monitor noninvasive mechanical ventilation in adults. Chest 1998; 113: 768-73.
24. Rodriguez P, Lellouche F, Aboab J *et al*. Transcutaneous arterial carbon dioxide pressure monitoring in critically ill adults patients. Intensive Care Med 2006; 134: 309-12.
25. Rodriguez P, Lellouche F, Aboab J *et al*. Transcutaneous arterial carbon dioxide pressure monitoring in critically ill adults patients, supplementary material. http://dx.doi.org/10.1007/s00134-005-0006-4
27. Janssens J-A, Laszlo A, Uldry C *et al*; Non-invasive (transcutaneous) monitoring of pCO_2 ($tcpCO_2$) in older adults. Gerontology 2005; 51: 174-78.
42. User's manual for SensorMedics, Critical Care; Clinical Guidelines for 3100A HFOV chapter 8.1 (version 0595H)
60. Heuss LT, Chhajed PN, Schnieper P *et al*. Combined pulse oximetry/cutaneous carbon dioxide tension monitoring during colonoscopies: Pilot study with a smart ear clip. Digestion 2004; 70: 152-58

61. Cox M, Kemp R, Anwar S. *et al*. Non-invasive monitoring of CO_2 levels in patients using NIV for AECOPD. Thorax 2006: 61: 363-4.
62. Nelson DB, Freeman ML, Silvis SE *et al*. A randomized, controlled trial of transcutaneous carbon dioxide during ERCP. Gastrointestinal endoscopy 2000; 51, 3: 288-95.
63. Griffin J, Terry BE, Burton RK *et al*. Comparison of end-tidal and transcutaneous measures of carbon dioxide during general anaesthesia in severely obese adult. Br J Anaesth 2003; 91, 4: 498-501.
64. Tatevassian RWC. Transcutaneous oxygen and CO_2 as early warning of tissue hypoxia and homodynamic shock in critically ill emergency patients; 2000; Crit Care med; 28(7): 2248-53.
65. Brown BJ, Richardson C, Ellis-Stoll C *et al*. Transcutaneous CO_2 monitoring versus end tidal CO_2 during Propofol sedation. Poster present at the annual ASA meeting (October 2006).
66. Männle C, Herth FJ, Becker HD *et al*. Controlling of high frequency jet ventilation by measurement of the Transcutaneous carbon dioxide tension (tcpCO_2) during rigid bronchoscopy. Chest 2003, 124, 4: 125S
67. Sivasothy P, Smith IE, Shneerson JM. Mask intermittent positive pressure ventilation in chronic hypercapnic respiratory failure due to chronic obstructive pulmonary disease. Eur Respir J 1998; 11: 34-40.
68. Tobias JD. Noninvasive carbon dioxide monitoring during one-lung ventilation: End-tidal versus transcutaneous techniques. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia 2003; 17, 3: 306-08.
69. Oshibuchi M, Cho S, Hara T *et al*. A comparative evaluation of transcutaneous and end-tidal measurements of CO_2 in thoracic anesthesia. Anesth analg 2003; 97: 776-79
70. Petersen JR, Galløe AM, Graudal NA. Intet grundlag for behandling af pulmonal hypertension med vasodilatation. Ugeskr Læger 1994; 156, 15: 2219-26.
71. Franker KL, Tullis E, Sasson Z *et al*. Pulmonary hypertension and cardiac function in adult cystic fibrosis. Chest 1999; 115: 1321-28.
72. Alswang M, Friesen RH, Bangert P. Effect of preanesthetic medication on carbon dioxide tension in children with congenital heart disease. J Cardiothorac Vasc Anaesth 1994; 8, 4: 415-19.
73. Zin W Y. Clinical study on hemodynamics, blood gases and hemorheologic monitoring of patients with cor pulmonale. Zhong xi yi jie he za zhi 1989; 9, 9: 522-14.
74. Shoemaker WC, Wo CCJ, Demetriades D *et al*. Scientific reviews: Early physiologic patterns in acute illness and accidents: Toward a concept of circulatory dysfunction and shock based on invasive and noninvasive hemodynamic monitoring. New Horizons 1996; 4, 4: 395-12.
75. Dalbec R, Batool S, Levin Y *et al*. Transcutaneous pCO_2 monitoring in a ventilator weaning unit. AARC 51st International Respiratory Congress, Program from the open forum no. 1. 2005; OF-05-116: 70.
76. Rowley D, Walsh BK, Young BS *et al*. Evaluation of a new digital transcutaneous tcpCO_2 & SpO_2 combination sensor and its correlation to ABG $PaCO_2$. AARC 51st International Respiratory Congress, Program from the open forum no. 1. 2005; OF-05-106: 69.
77. Evans EN, Ganeshalingam K, Ebden P. Changes in oxygen saturation and transcutaneous carbon dioxide levels in patients undergoing fibreoptic bronchoscopy. Respiratory Medicine 1998, 92: 739-42

Médecine pulmonaire et respiratoire

BPCO

La broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) est une des premières causes de la morbidité respiratoire. La commission européenne pour la santé publique positionne la BPCO comme l'une des premières causes de morbidité chronique et l'US National institutes of health la classe au quatrième rang des causes de mortalité aux Etats-Unis [78].

Les patients atteints de BPCO sont souvent âgés et régulièrement hospitalisés pour des durées plus ou moins longues. Il est donc important de minimiser les interventions et l'utilisation de surveillance invasive. Le suivi transcutané de CO_2 par une sonde combinée de tcpCO_2/SpO_2 est souvent la solution optimale, selon les études citées ci-dessous.

Suivi du dioxyde de carbone chez des BPCO et autres maladies respiratoires

Une étude a comparé la $PaCO_2$ avec le sang capillaire artérialisé, la tcpCO_2, la pCO_2 de fin d'expiration et le ratio espace mort physiologique/volume d'expiration (VD/VT) chez des patients présentant une BPCO, des patients de chirurgie cardiaque postopératoire et des sujets témoins en bonne santé. Les patients ont été évalués selon trois schémas de ventilation mécanique. Les valeurs de $PaCO_2$, tcpCO_2 et pCO_2 de fin d'expiration sont bien corrélées avec la VD/VT et la $PaCO_2$ (0,99 ; 0,97 et 0,87). Cependant, d'autres études ont montré que la pCO_2 de fin d'expiration n'est pas suffisamment précise chez les patients présentant un déséquilibre ventilation/perfusion [21, 27, 79].

Exacerbation de BPCO pendant une oxygénothérapie

Les patients hypoxiques avec exacerbation grave de leur BPCO présentent, suivant des études et recommandations «The ABC of oxygen therapy», un risque d'accumulation du dioxyde de carbone sous oxygénothérapie. Une mesure combinée tcpCO_2/SpO_2 est pertinente pendant une ventilation par pression positive non invasive, alors que la pCO_2 de fin d'expiration peut être difficile à mesurer et à évaluer. La Fig. 9 donne un exemple de suivi d'un patient BPCO [76,80]

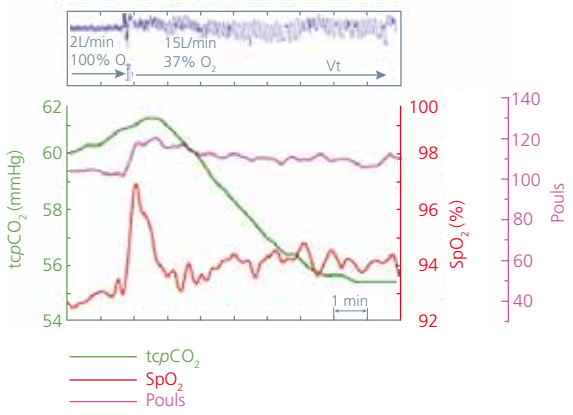


FIG. 9: Patient BPCO pendant une oxygénothérapie à haut débit.
Un patient BPCO avec suivi continu des valeurs de tcpCO_2/SpO_2 et de pouls pendant l'administration d'une oxygénothérapie transtrachéale à haut débit. La ventilation est mesurée par un pléthysmographe respiratoire inductif (Vt= changement de volume pulmonaire). [81].

Réglages de ventilation en fonction de la tcpCO_2

Une étude a montré que la tcpCO_2 permet d'évaluer la réponse à une ventilation non invasive chez les patients avec décompensation de BPCO [61] présentant une insuffisance hypercapnique du système ventilatoire.

Désaturation oxygénique nocturne des patients BPCO

Près de 80% des patients avec BPCO sévère présentent aussi une désaturation nocturne due à l'hypoventilation. La conséquence de cette désaturation est une valeur de CO_2 artérielle augmentée, entraînant des symptômes d'insuffisance respiratoire diurnes et nocturnes, cœur pulmonaire etc. Ces patients pourraient être aidés par un suivi de la tcpCO_2 nocturne au début d'une oxygénothérapie.

Le monitorage transcutané non invasif du CO_2 est essentiel dans les laboratoires du sommeil pour les diagnostics et les traitements des patients présentant une BPCO aiguë. Une étude a montré qu'il y avait une forte corrélation entre les niveaux de $PaCO_2$ diurne et la sévérité de l'hypoventilation nocturne : les niveaux élevés de CO_2 pendant la journée entraîneront probablement une hypercapnie la nuit suivante. On a trouvé une relation similaire entre l'hypoventilation nocturne et diurne dans une étude aléatoire multicentrique où de nombreux patients hypercapniques ont été diagnostiqués par tcpCO_2. Cette étude montre que les niveaux de $PaCO_2$ d'un patient ayant une BPCO stable pouvaient être améliorés par des ajustements de la ventilation nocturne non invasive basés sur les valeurs de tcpCO_2. La figure 10 présente un exemple de mesure de cette étude sur un patient [67, 78, 82].

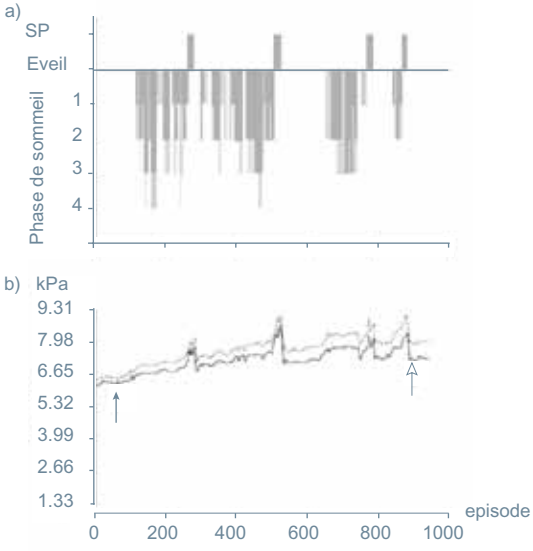


FIG. 10: Mesure nocturne sur un patient
a) Hypnogramme montrant les phases du sommeil d'un patient.
b) Enregistrements nocturnes de la tc*p*CO_2. Remarquer la corrélation entre une tc*p*CO_2 élevée et sommeil paradoxal (SP). Le temps est indiqué sur l'axe X par périodes de 30 secondes. La flèche indique l'épisode 55 (tc*p*CO_2 : 6,61 kPa (49,7 mm Hg) et $PaCO_2$: 6,29 kPa (47,3 mm Hg). La flèche blanche indique l'épisode 923 (tc*p*CO_2 : 8,09 kPa (60,8 mm Hg) et $PaCO_2$: 7,39 kPa (55,6)). La courbe plus foncée est la tc*p*CO_2 avec calibration in vivo et la courbe plus claire la tc*p*CO_2 sans calibration in vivo. (Droit de reproduction obtenu de Eur Respair J) [78].

Syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA)

Dans une étude sur des patients présentant diverses conditions respiratoires, la conclusion était que la tc*p*CO_2 offrait une meilleure indication de la ventilation du patient que le CO_2 de fin d'expiration. Les auteurs précisent que cet effet est dû à une augmentation de l'espace mort respiratoire ou à une ventilation excédant la perfusion. Dans ces circonstances (un déséquilibre V/P élevé), le dioxyde de carbone pourrait être éliminé de façon inadéquate, auquel cas la $PaCO_2$ augmenterait sans être compensée par le CO_2 de fin d'expiration. Cette différence entre la *p*CO_2 artérielle et le CO_2 de fin d'expiration est particulièrement accentuée chez les patients atteints de syndrome de détresse respiratoire aiguë [83].

Ventilation non invasive

Les avantages de la ventilation non invasive par pression positive sont aujourd'hui bien documentés et son utilisation s'est développée. La tcpCO_2 a révélé une très bonne corrélation avec la $PaCO_2$ chez les adultes dans un état hémodynamique stable. Le délai de détection d'une variation de ventilation par la tcpCO_2 est compatible avec le monitorage clinique de patients sous ventilation non invasive par pression positive [22].

Fuites pendant une ventilation par pression positive

Chez de nombreux patients sous ventilation non invasive, on a observé des fuites significatives au niveau de la bouche ou du nez. Ces fuites sont particulièrement fréquentes en cas de forte résistance nasale, de traitement mal adapté ou d'un sommeil perturbé chez le patient. Une étude menée sur des patients témoins éveillés a confirmé qu'une fuite buccale importante est pénible et risque de troubler sévèrement le sommeil du patient. Des patients endormis présentant une fuite buccale sous ventilation nasale assistée à 2 niveaux ont une tcpCO_2 élevée [84].

Ventilation mono pulmonaire

Plusieurs études ont montré que le suivi de la tcpCO_2 permet une estimation plus précise du niveau de la $PaCO_2$ sous ventilation mono pulmonaire que les mesures de la pCO_2 de fin d'expiration. Le tableau suivant, extrait d'une de ces études, montre un écart plus important entre la pCO_2 et la $PaCO_2$ qu'entre la tcpCO_2 et la $PaCO_2$ chez les patients ayant subi une heure de ventilation mono pulmonaire pendant une anesthésie thoracique.

Temps	Différence en mmHg par rapport à la $PaCO_2$	
Minutes de ventilation monopulm.	pCO_2 de fin d'expiration	tcpCO_2
15	6.1 ± 4.6 *	0.0 ± 2.5
30	5.3 ± 4.1 *	0.0 ± 2.4
45	5.5 ± 3.7 *	0.2 ± 2.3
60	6.3 ± 4.1 *	1.3 ± 2.6

Les valeurs sont indiquées en comparaison avec la différence significative $P < 0.05$. [72]

Cette étude a aussi montré une différence significative pour la ventilation bipulmonaire : pCO_2 de fin d'expiration – $PaCO_2$: -7,1 ± 4,6 mmHg vs. tcpCO_2 – $PaCO_2$: 1,4 ± 4,3 mmHg [68,69].

Tests respiratoires

Pour les patients asthmatiques, certains médecins pensent que la mesure de l'hyperréactivité bronchiale non spécifique causée par l'inhalation d'agents bronchoconstricteurs donne des informations diagnostiques utiles.

Le suivi de la tcpCO_2 s'est révélé être un outil fiable et utile pour l'analyse des courbes de réponse aux doses de méthacoline administrées aux patients adultes asthmatiques [85,86].

Notes

21. Bendjelid K, Schütz N, Stotz M *et al*. Transcutaneous pCO_2 monitoring in critically ill adults: Clinical evaluation of a new sensor. Crit Care Med 2005; 33, 10: 2203-06.
22. Janssens J-P, Howarth-Frey C, Chevrolet J-C *et al*. Transcutaneous pCO_2 to monitor noninvasive mechanical ventilation in adults: Assessment to a new transcutaneous pCO_2 device. Chest 1998; 113: 768-73.
27. Janssens J-A, Laszlo A, Uldry C *et al*. Non-invasive (transcutaneous) monitoring of pCO_2 ($tcpCO_2$) in older adults. Gerontology 2005; 51: 174-78.
36. Wilson J, Russo P, Russo JA *et al*. Noninvasive monitoring of carbon dioxide in infants and children with congenital heart disease: End-tidal versus transcutaneous techniques. J Intensive Care Med 2005; 20, 5: 291-95.
61. Cox M, Kemp R, Anwar S. *et al*. Non-invasive monitoring of CO_2 levels in patients using NIV for AECOPD. Thorax 2006: 61: 363-4.
67. Sivasothy P, Smith IE, Shneerson JM. Mask intermittent positive pressure ventilation in chronic hypercapnic respiratory failure due to chronic obstructive pulmonary disease. Eur Respir J 1998; 11: 34-40.
68. Tobias JD. Noninvasive carbon dioxide monitoring during one-lung ventilation: End-tidal versus transcutaneous techniques. Journal of Cardiothoracic and vascular Anesthesia. 2003; 17, 3: 306-08.
69. Oshibuchi M, Cho S, Hara T *et al*. A comparative evaluation of transcutaneous and end-tidal measurements of CO_2 in thoracic anesthesia. Anesth analg 2003; 97: 776-79.
76. Rowley D, Walsh BK, Young BS *et al*. Evaluation of a new digital transcutaneous $tcpCO_2$ & SpO_2 combination sensor and its correlation to ABG $PaCO_2$. AARC 51st International Respiratory Congress, Program from the open forum no. 1. 2005; OF-05-106: 69.
77. Chaouat A, Weiltzenblum E, Krieger J *et al*. Association of chronic obstructive pulmonary disease and sleep apnea syndrome. Am J Respir Crit Care Med 1995; 151,1: 82-86
78. O'Donoghue FJ, Catcheside PG, Ellis EE *et al*. Sleep hypoventilation in hypercapnic chronic obstructive pulmonary disease: Prevalence and associated factors; Eur Respir J 2003; 21: 977-84.
79. Xie X-B; Liu Y. Application of bedside monitoring with arterized capillary blood, transcutaneous and end tidal carbon dioxide during mechanical ventilation. Zhonghua jie he he hu xi za zhi = Zhonghua jiehe he huxi zazhi (= Chinese Journal of tuberculosis and respiratory diseases) 1993; 16, 2: 98-100 (English abstract 124-5).
80. Bateman NT, Leach RM. Clinical review. ABC of oxygen. Acute oxygen therapy. BMJ 1998; 317. 798-801.
81. Brack T, Senn O, Russi EW, Bloch KE. Transtracheal high-flow insufflation supports spontaneous respiration in chronic respiratory failure. Chest 2005; 127: 1: 98-04. Reprinted in Tosca - Selected case reports. Adipositas-hypoventialtion syndrome. 2005; Patient 1: Figure 2: 5. (Linde Medical Sensors AG, Austrasse 25, Ch-4051, Basel, Switzerland)
82. Jennum PJ, Tønnesen P, Rasmussen N *et al*. Søvnrelaterede respirationsforstyrrelser, definition, forekomst, patofysiologi og konsekvenser. Ugeskr Læger 2005: 167, 22: 2380-85.
83. Blanchette T, Dziodzio J. Transcutaneous pCO_2 and end-tidal pCO_2 in ventilated adults. Respiratory Care 1992; 92, 3: 240-47.
84. Teschler H, Stampa J, Ragette R *et al*. Effect of mouth leak on effectiveness of nasal bilevel ventilatory assistance and sleep architecture. Eur Respir J 1999; 14: 1251-57.

85. Fontana GA, Lavorini F, Boddi V *et al*. Comparison of dose-response slopes obtained by simultaneous assessment of changes in FEV1 and transcutaneous oxygen partial pressure during methacholine challenges in asthmatic patients. Journal of Asthma 1995; 32, 4: 301-407
86. Fontana GA, Cardellicchio S, Camiciottoli G *et al*. Changes in transcutaneous oxygen partial pressure as an index of response to inhaled methacholine in asthmatic patients. Chest 1993; 103,5: 1375-80.

Laboratoires du sommeil

Apnées du sommeil

Les apnées du sommeil affectent les personnes partout dans le monde. D'après l'OMS, 5 à 20 millions de personnes en Europe et 15 à 20 millions de personnes aux États-Unis en souffrent et 11 % des patients souffrant d'apnées obstructives du sommeil sont aussi atteints de BPCO. S'ils ne sont pas pris en charge, ces patients souffrent de fatigue excessive pendant la journée et d'une diminution des fonctions cognitives. Cela augmente aussi le risque d'accidents de la route et de développement de maladies cardiovasculaires. Le suivi continu de la SpO_2 s'est avéré crucial dans les laboratoires du sommeil pour le diagnostic et le traitement de ces patients. De même, le suivi de la tc*p*CO_2 est utile pour détecter l'hypoventilation [76, 77, 78].

Episodes d'hypoventilation

Pour éviter une hypoventilation potentiellement dangereuse ou une ventilation assistée nocturne mal adaptée, une mesure combinée tc*p*CO_2/SpO_2 est utile pour suivre l'efficacité de la ventilation non invasive par pression positive. Le suivi de la tc*p*CO_2 permet de détecter des épisodes d'hypoventilation de moins de 30 secondes [76, 78].

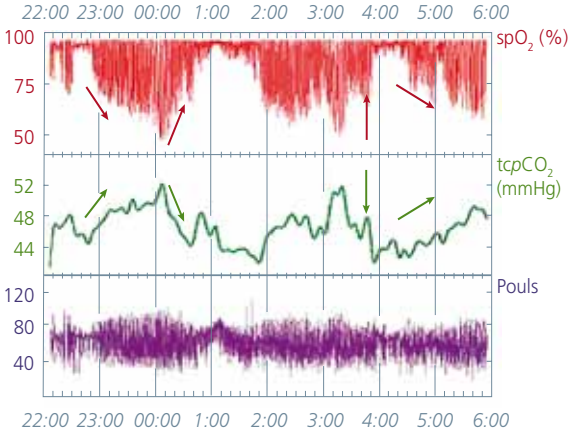


FIG. 11: Enregistrements nocturnes
Un exemple des enregistrements nocturnes d'un patient obèse atteint d'hypoventilation et du syndrome d'apnée du sommeil. Ces enregistrements ont été réalisés entre 18h00 et 6h00 avec un capteur combiné de $tcpCO_2/SpO_2$ placé au lobe de l'oreille. Les flèches montrent comment la SpO_2, la $tcpCO_2$ et l'oxymétrie de pouls illustrent l'apparition d'hypoventilation et la reprise d'une ventilation normale [81].

Mucoviscidose

Les patients atteints d'une mucoviscidose grave peuvent développer une hypoxie et une hypercapnie pendant leur sommeil, surtout pendant leur sommeil paradoxal. On a relevé le soir chez ces patients, des niveaux de $PaCO_2$ élevés, associés à une désaturation pendant le sommeil et à une augmentation de la $tcpCO_2$ pendant les transitions vers le sommeil paradoxal [88].

Patients sous ventilation non invasive prolongée

La ventilation non invasive nocturne prolongée diminue les symptômes d'hypoventilation diurne, l'insuffisance respiratoire et améliore la qualité du sommeil, même lorsque les patients ne sont pas sous ventilation assistée. Le suivi de la $tcpCO_2$ est un outil important pour évaluer l'efficacité d'un traitement et pour ajuster la ventilation [89].

Fuites de ventilation

Comme indiqué dans la section pneumologie, les patients sous ventilation non invasive à pression positive ont souvent des fuites au niveau du masque ou de la bouche. Cela peut perturber l'architecture du sommeil. L'augmentation du niveau de dioxyde de carbone qui y est associée peut être détectée par le suivi de la tcpCO_2 [82].

Notes

76. Rowley D, Walsh BK, Young BS *et al*. Evaluation of a new digital transcutaneous tcpCO_2 & SpO_2 combination sensor and its correlation to ABG $PaCO_2$. AARC 51st International Respiratory Congress, Program from the open forum no. 1. 2005; OF-05-106: 69.
77. Chaouat A, Weiltzenblum E, Krieger J *et al*. Association of chronic obstructive pulmonary disease and sleep apnea syndrome. Am J Respir Crit Care Med 1995; 151, 1: 82 –86.
78. O´Donoghe Fj, Chatcheside PG, Ellis EE *et al*. Sleep hypoventilation in hypercapnic chronic obstructive pulmonary disease: Prevealence and associatiod factors; Eur Respir J 2003; 21. 977 -84.
81. Bloch KE. Tosca - Selected case reports. Adipositas-hypoventialtion syndrome. 2005; Patient 1: figure 2: 5. (Linde Medical Sensors AG, Austrasse 25, Ch-4051, Basel, Switzerland)
82. Teschler H, Stampa J, Ragette R *et al*. Effect of mouth leak on effectiveness of nasal bilevel ventilatory assistance and sleep architecture. Eur Respir J 1999; 14: 1251-57.
86. Mullory E, McNicholas WT. Ventilation and gas exchange during sleep and exercise in severe COPD. Chest 1996; 109, 2: 387-94.
88. Milross MA, Piper AJ, Norman M *et al*. Predicting sleep-disordered breathing in patients with cystic fibrosis. Chest 2001; 120: 1239-45.
89. Piper AJ, Sullivan CE. Effect of long-term nocturnal nasal ventilation on spontaneous breathing during sleep in neuromuscular and chest wall disorders. Eur Respir J 1996; 9: 1515-22.

Laboratoires et hôpitaux vétérinaires

Animaux

Même si le suivi TC est prévu pour être utilisé sur les humains, la littérature donne plusieurs exemples d'utilisation sur des animaux. Avant de pouvoir utiliser un capteur TC sur un animal, il est nécessaire de préparer la peau, afin d'optimiser la diffusion d'oxygène et de dioxyde de carbone à travers la peau.
On conseille de retirer les poils et la couche supérieure de peau morte. Ne pas utiliser de produits chimiques épilatoires car ils affecteraient les mesures. Sur les animaux plus grands comme les porcs, certains auteurs recommandent de frotter la zone de mesure doucement avec du papier verre pour préparer la peau à la mesure (une fois les poils enlevés) [90].

Corrélation entre la tc*p*CO_2 et la $PaCO_2$ chez les souris et les rats

Il existe une relation linéaire entre la tc*p*CO_2 et la $PaCO_2$ constatée chez plusieurs espèces de rats et souris [91].

Viabilité de la peau des chiens

Une étude a conclu que l'oxygène transcutané était utile pour analyser la viabilité de la peau chez les chiens [92].

Choc hémorragique chez le porc

Des porcs âgés de 12 semaines ont été utilisés pour évaluer la sévérité du choc hémorragique. Mis en relation avec une mesure du pH de la paroi intramuqueuse, le suivi transcutané de l'oxygène a indiqué une perte de volume de sang plus rapidement que le débit cardiaque [90].

Limites des études sur les animaux

Certaines études sur les animaux ont donné des résultats peu convaincants. Ceci peut être dû à une mauvaise préparation de la peau ou aux limites de la technique TC. Il est donc recommandé de faire des tests pour valider l'exactitude des mesures avant d'entreprendre d'autres études ou applications cliniques.

Utilisation expérimentale de la technique TC

Une utilisation expérimentale de la technique TC peut demander une nouvelle approche. Un cas non publié traitant du suivi de l'oxygène intestinal d'un cheval pendant une intervention sur un iléus en est un exemple. Vu que l'intestin est humide et en mouvement, il était impossible d'utiliser les anneaux de fixation pour fixer le capteur pendant l'intervention. Les vétérinaires ont donc utilisé un capteur tcpO_2 propre (mais non stérile) avec une membrane neuve. Ils ont eu recours à un gant stérile, avec un trou pour la tête du capteur, pour que le capteur puisse être appliqué directement sur l'intestin sans avoir besoin de gel de contact. La température de mesure était basse pour éviter toute brûlure. Cette méthode a permis aux vétérinaires de décider quand les tissus étaient suffisamment oxygénés et quand ils ne l'étaient pas. L'intervention s'est bien déroulée ; par la suite, le cheval a reçu un traitement antibiotique et n'a pas montré de signes d'infection (*).

* non publié

Notes

90. Hartmann M, Montgomery A, Jönsson K et al. Tissue oxygenation in hemorrhagic shock measured as transcutaneous oxygen tension, subcutaneous oxygen tension, and gastrointestinal intramucosal pH in pigs. Critical care Medicine 1991; 19,2: 205-10.
91. Ramos-Cabrer P, Weber R, Wiedermann D *et al*. Continuous noninvasive monitoring of transcutaneous blood gases for a stable and persistent BOLD contrast in fMRI studies in the rat. NMR in Biomed 2005; 18: 440-46.
92. Rocbat MC, Pope ER, Payne JT et al. Transcutaneous oxygen monitoring for predicting skin viability in dogs. Am J Vet Res 1993; 53, 3: 468-75.

68

Liste des abréviations

AARC :	American Association for Respiratory Care
SDRA :	Syndrome de détresse respiratoire aiguë
IMC :	Indice de masse corporelle (kg/m^2)
°C :	Degrés Celsius
CPAP :	Pression positive continue
BPCO :	Bronchopneumopathie chronique obstructive
CO_2 de fin d'expiration :	Concentration de CO_2 de fin d'expiration
°F :	Degrés Farenheit
JVHF :	Jet ventilation à haute fréquence
VOHF :	Ventilation par oscillations à haute fréquence
HHb :	Hémoglobine désoxygénée
USI :	Unité de soins intensifs
IR :	Infrarouge
kPa :	Kilo Pascal
DEL :	Diode électro-luminescente
mm Hg :	Millimètres de mercure (comme Torr)
NPPV :	Ventilation non invasive par pression positive
CPN :	Coefficient de prévision négatif
nm :	Nanomètre
O_2Hb :	Hémoglobine oxygénée
$PaCO_2$:	Pression partielle de CO_2 artériel
PaO_2 :	Pression partielle de O_2 artériel
$PcaCO_2$:	Pression partielle de CO_2 capillaire
BiPAP :	Ventilation par pression positive à 2 niveaux
CPP :	Coefficient de prévision positif
Prs :	Résistance respiratoire mesurée par oscillation
Rint :	Technique d'interruption pour mesurer la résistance respiratoire
SpO_2 :	Saturation mesurée par oxymètre de pouls
sRaw :	Pléthysmographie corporelle totale pour mesurer des résistances spécifiques

TC :	Transcutané
tcpCO_2 :	pCO_2 transcutanée
tcpO_2 :	pO_2 transcutanée
tcpCO_2/O_2 :	pCO_2 et O_2 transcutanées
UV:	Lumière ultraviolette
VD/VT :	Ratio espace mort physiologique/volume d'expiration
V/P.:	Ratio ventilation/perfusion
Xrs5 :	Réactance respiratoire mesurée par oscillation

Techniques complémentaires

Cette partie résume les différentes techniques associées au monitorage transcutané.

Echantillons de gaz du sang artériel

L'évaluation de la ventilation alvéolaire et de la saturation en oxygène artériel chez les patients sévères requiert des prélèvements artériels fréquents [21].

Les analyses des gaz du sang artériel sont la référence dans les USI et les salles de réveil. Mais elles sont douloureuses, invasives et peuvent parfois entraîner des complications graves (comme des lésions nerveuses, des thromboses artérielles et une ischémie pouvant mener à une nécrose). De plus, un échantillon sanguin ne fournit qu'une image ponctuelle du bilan $PaCO_2$/PaO_2 du patient sans compter les erreurs pré-analytiques ; il ne donne pas de valeurs continues des gaz. En néonatalogie, il est conseillé de limiter le nombre de prélèvements du fait du volume sanguin du patient, pour réduire le besoin de transfusions pouvant entraîner des complications sévères. Malgré tout, les échantillons de sang artériel permettent un bilan précis des gaz, ce qui peut être nécessaire pour une surveillance optimale du patient [96, 97]

Oxymétrie de pouls

L'oxymétrie de pouls permet de suivre l'oxygénation systémique. Cette technique est largement employée et est facile à mettre en œuvre. Des mouvements comme des tremblements peuvent interrompre les signaux de SpO_2 ; le site de mesure ne doit présenter, ni blessure, ni fracture, ni naevus. Les mesures au doigt ou à l'orteil de patients présentant une mauvaise circulation périphérique peuvent aussi s'avérer problématiques. La pigmentation de la peau et le vernis à ongles peuvent aussi fausser les mesures. La plupart des oxymètres ont une

précision à ± 3-5% et sont considérés comme non fiables en dessous de 70%. Du fait de la forme aplatie de la courbe de dissociation de l'oxygène à des concentrations élevées, il n'est pas possible d'estimer la $PaCO_2$ pour détecter une hyperoxie. Le personnel soignant doit avoir à l'esprit que la SpO_2 peut être faussée par une concentration élevée de carboxyhémoglobine, un changement de pH, la température, les niveaux de 2,3-DPG et de pCO_2 ou d'hémoglobine anormaux. Si ces facteurs sont pris en compte, cette technique est peu onéreuse et facile à mettre en œuvre. La SpO_2 n'indique cependant que le niveau d'oxygénation et non le niveau de CO_2. Le sevrage d'une ventilation mécanique, la réduction du volume respiratoire de repos chez les patients avec un syndrome de détresse respiratoire aiguë et la prise en charge de patients présentant un œdème cérébral requièrent une mesure de CO_2 [98, 9, 40, 19, 21].

Tonométrie gastrique et capnométrie sublinguale

La tonométrie gastrique et la capnométrie sublinguale sont basées sur le fait que le taux de CO_2 tissulaire est plus élevé chez les patients ayant une mauvaise perfusion. La technique de tonométrie gastrique demande l'insertion d'une sonde naso-gastrique spécifique. Cette méthode est connue comme étant difficile et n'est donc pas souvent mise en œuvre : elle exige un long délai d'équilibre (de préférence 90 minutes si le ballonnet de la sonde contient un liquide ou 20 minutes s'il contient un gaz). Il faut souvent recourir à des antihistaminiques de type 2 pour empêcher la production intraluminale de CO_2 par l'acide gastrique, le patient doit jeûner au moins 2 heures avant l'intervention. Le monitorage de la pCO_2 sublinguale est utilisé lorsque l'appareil digestif n'est pas perfusé adéquatement, par exemple au stade précoce d'un choc. Il est «non invasif» et fournit des informations presque instantanément. Cependant, cette technique est cliniquement mal documentée. Ces deux méthodes ont montré une relation étroite entre la baisse de tension artérielle et l'indice cardiaque

pendant un choc circulatoire ou sceptique. Elles ne fournissent que des résultats intermittents et exigent une infirmière pour la réalisation des mesures. Du fait de leur utilisation réduite, ces techniques ne feront pas l'objet d'analyses supplémentaires [4,64,99].

pCO_2 de fin d'expiration

Le monitorage de la pCO_2 de fin d'expiration s'applique à la mesure non invasive des concentrations de CO_2 exhalées en fin d'expiration. Il est surtout utilisé pour vérifier le positionnement d'un tube endotrachéal et pendant la réanimation cardio-respiratoire. Son utilisation est devenue courante dans les blocs opératoires, dans certaines USI et aux urgences. Le manque de précision dû au shunt pulmonaire et à la ventilation de l'espace mort est l'inconvénient de cette technique. Cette imprécision existe aussi chez les patients atteints de maladies pulmonaires intrinsèques, de déséquilibre ventilation/perfusion ou présentant un volume respiratoire faible (enfants et nouveau-nés). Des études ont montré que chez ces patients, la pCO_2 de fin d'expiration est moins précise que sa tcpCO_2. D'autres études concluent que, tandis que la pCO_2 augmente significativement pendant une ventilation mono pulmonaire, ni la tcpCO_2 , ni la $PaCO_2$ ne présentent les mêmes variations [21,27,36,46,68,69,100,101].

Alors que les mesures de fin d'expiration et les mesures TC sont plus fréquemment utilisées que la $PaCO_2$, elles surveillent indirectement différents éléments de la production de CO_2, de son transport et de son élimination. Dans une étude comparative, les auteurs concluent que la pCO_2 de fin d'expiration ne reflète pas toujours la $PaCO_2$; cependant, la pCO_2 de fin d'expiration fournit des informations pouvant être déduites de l'ondulation du dioxyde de carbone avec un temps de réponse court [21,102].

tcpCO_2

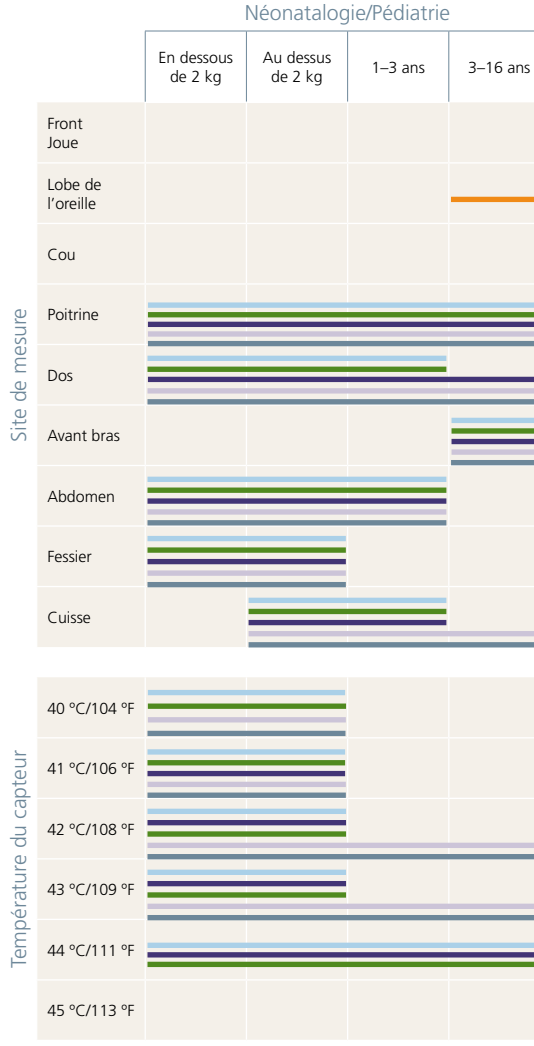
Le monitorage de la tcpCO_2 (et de la tcpO_2 pour les nouveaunés) fournit des informations quasi instantanées et continues sur la circulation périphérique corporelle et la capacité à éliminer le dioxyde de carbone via le système cardio-pulmonaire (et d'apporter l'oxygène aux tissus). Cette technique donne une indication précise de la $PaCO_2$ en cas de dysfonctionnement cardio-respiratoire grave. Le moniteur peut être déplacé avec le patient. Ce capteur doit être chauffé et calibré régulièrement, le site de mesure doit être fréquemment changé et le capteur régulièrement remembrané. La méthode TC est par contre non invasive, facile à mettre en œuvre, rapide à calibrer et n'implique pas d'intubation. Les mesures transcutanées du dioxyde de carbone pendant la JVHF/VOHF sont recommandées par les fabricants. Et le suivi des tendances de tcpCO_2 permet de réduire le recours à des techniques de monitorage plus coûteuses et risquées telles que le prélèvement artériel [4,21,102].

Résumé

Toutes ces techniques présentent leurs avantages et inconvénients spécifiques. Chez certains patients, la technique non invasive transcutanée est la solution la plus simple et la meilleure. Elle fournit des informations pertinentes et continues sur des patients atteints de maladies cardio-respiratoires (tous âges). Dans d'autres cas, le meilleur moyen de suivi peut être obtenu par une combinaison de diverses techniques (TC, GDS, SpO_2 ou CO_2 de fin d'expiration). Par exemple, lorsque le monitorage de la tcpCO_2 est combiné avec l'oxymétrie de pouls pour apporter des informations supplémentaires aux gaz du sang artériels intermittents. Globalement, ces 4 techniques se complètent plutôt qu'elles ne s'excluent pour atteindre leur objectif : optimiser le bilan ventilatoire et respiratoire du patient.

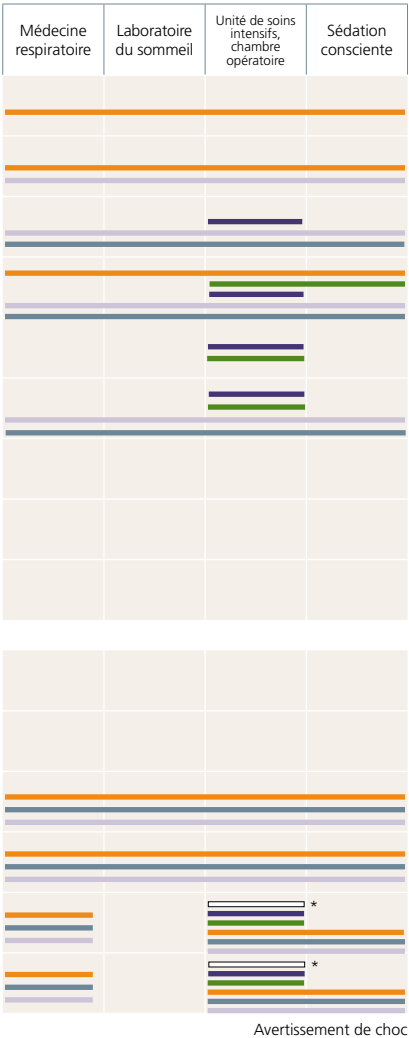
4. Hill KM, Klein DG. Transcutaneous carbon dioxide monitoring; Crit Care Nurs Clin N Am 2006; 18: 211-15.
9. Gøthgen IH, Siggaard-Andersen O, Kokholm G. Variations in the hemoglobin-oxygen dissociation curve in 10079 arterial blood samples. Scand. J. Clin. Invest. 1990; 50, suppl. 203: 87-90.
19. Myers CS. Measured results: Pulse oximetry is proving the simple solution to many COPD disease management programs' success. The Journal for Respiratory Care Practitioners 1996; Aug./Sep.: RT 83-86.
21. Bendjelid K, Schütz N, Stotz M *et al*. Transcutaneous pCO_2 monitoring in critically ill adults: Clinical evaluation of a new sensor. Crit Care Med 2005; 33, 10: 2203-06.
27. Janssens J-A, Laszlo A, Uldry C *et al*; Non-invasive (transcutaneous) monitoring of pCO_2 ($tcpCO_2$) in older adults. Gerontology.2005; 51: 174-78.
36. Wilson J, Russo P, Russo JA, *et al*. Noninvasive monitoring of carbon dioxide in infants and children with congenital hart disease: End-tidal versus transcutaneous techniques. J Intensive Care Med 2005; 20, 5: 291-95.
40. Poets CF. Pulse oximetry vs. transcutaneous monitoring in neonates: Practical aspects. www.bloodgas.org 2003; October: Neonatology.
46. Nosovitch MA, Johnson JO, Tobias JD. Noninvasiv intraoperative monitoring of carbon dioxide in children; endtidal versus transcutaneous techniques. Paediatric Anaesthesia 2002; 12: 48-52.
64. Marik PE. Regional carbon dioxide monitoring to assess the adequacy of tissue perfusion. Curr Opin Crit Care 2005; 11: 245-51.
68. Tobias JD. Noninvasive carbon dioxide monitoring during one-lung ventilation: End-tidal versus transcutaneous techniques. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia. 2003; 17, 3: 306-08.
69. Oshibuchi M, Cho S, Hara T *et al*. A comparative evaluation of transcutaneous and end-tidal measurements of CO_2 in thoracic anesthesia. Anesth analg 2003; 97: 776-79.
96. Wallach SG. Cannulation injury of the radial artery: Diagnosis and treatment algorithm. (Critical care techniques). American Journal of Critical Care 2004; 7, 1.
97. Dar K, Williams T, Aitken R *et al*. Arterial versus capillary sampling for analysis blood gas pressures. BMJ 1995; 310: 24-25.
98. Hamilton AM. The importance of trained staff in pulse oximetry. AARC Times 2005; 29, 12: 39-43.
99. Marik PE. Regional carbon dioxide monitoring to assess the adequacy of tissue perfusion. Curr, Opin, Crit, Care 2005; 11: 245-51.
100. Blanchette T, Dziodzio J. Transcutaneous pCO_2 and end-tidal pCO_2 in ventilated adult. Respiratory Care 1992; 92, 3: 204-47.
101. Bhende MS. End-tidal carbon dioxide monitoring in pediatrics: Concepts and technology. J Postgrad Med 2001; 46: 153-56.
102. Hiller SC, Schamberger MS. Editorial: Transcutaneous and end-tidal carbon dioxide analysis: Complimentary monitoring strategies. Journal of Intensive Care Medicine 2005; 20, 5: 307-09.

Choix du site de mesure et de la température



Ce schéma est basé sur l'expérience de terrain et ne doit pas être utilisé comme une règle générale

Adulte



Capteur tc E5480 (O_2/CO_2)

Capteur tc E5280 (O_2/CO_2)

Capteur tc 92 (SpO_2/CO_2)

Capteur tc E5260 (CO_2)

Capteur tc 54 (CO_2)

Capteur tc E5250 (O_2)

Capteur tc 84 (O_2/CO_2)

Avertissement de choc

RADIOMETER

ACUTE CARE TESTING

www.radiometer.com